



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**

EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL SUELO DE UN RELLENO SANITARIO EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

**Carlos Andrés Guerra Manjarrés
Andrés Felipe Reales Bejarano**

**Corporación Universidad de la Costa
Departamento Civil y Ambiental
Ingeniería Ambiental
Barranquilla, Colombia
2017**



PROYECTO DE GRADO:

“EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL SUELO DE UN RELLENO SANITARIO EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO”, **PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL.**

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN AMBIENTAL

TESISTAS:

CARLOS ANDRES GUERRA MANJARRES Y ANDRES FELIPE REALES BEJARANO.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

MSc. WENDY MORGADO GAMERO

CO-DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO.

MSc. MARGARITA CASTILLO RAMIREZ

**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA CUC.**

JULIO DEL 2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 25 de julio de 2017

Dedicatoria

“Encomienda tus obras al Señor, Y tus propósitos se afianzarán. Proverbios 16:3”.

Primeramente, a Dios por darme la vida y la salud necesaria para poder realizar este proyecto; y acompañarme en los momentos de soledad y debilidad en los que he perdido la fuerza y a punto de dejar de luchar por los obstáculos que coloca la vida sin embargo él me ha dado la determinación de ir siempre hacia delante.

A mis padres Carlos Vicente Guerra Cantillo y Mónica Rocío Manjarrés Paternostro son los pilares de mi vida que me han guiado por el camino del bien, con respeto, amor, responsabilidad, cariño, y empeño formándome día a día para ser cada vez una mejor persona en todos los aspectos de la vida.

A mi hermana Daniela Lucía Guerra Manjarrés porque me ha enseñado a ser más tolerante, a exigirme más como persona y la auto superación, y al apoyo familiar en la buenas y malas circunstancias de la vida.

A mis familiares, en especial mi abuelita Virginia María Paternostro Gutiérrez que me ha enseñado a sacar más de una familia adelante con perseverancia, temple y determinación; como también mi tío Vicente José Paternostro Gutiérrez me ha demostrado que la vida si da segundas oportunidades y las da para tener una mejor calidad de vida.

A mi amigo Andrés Reales, que ha sido un hermano para mí; me ha acompañado en diferentes etapas de mi vida, cosas buenas; otras no tanto, experiencias; anécdotas y como no podía faltar;

en este proyecto; además me ha enseñado muchas cosas a nivel profesional, laboral, educativo, personal que han sido de guía en mi proyecto de vida.

A mi novia Dayana Marcela Padilla Lara que me ha aconsejado y acompañado en buenos y malos momentos de mi vida; dando un soporte a nivel emocional para seguir adelante y ser un mejor ser humano.

A mis familiares fallecidos especialmente mi bisabuela Regina Gutiérrez, mi tía Hortencia Paternostro, mi papi Carlos Guerra y mi tío Django Pérez que dejaron en mí una huella positiva; sus recuerdos, muchas de sus anécdotas y vivencias me dan alegría, nostalgia; energía y ganas de enfrentar la vida.

A mi perro Rocky Gabriel que siempre me espera con una cara de alegría y emoción, independientemente de mi estado de ánimo o como yo me encuentre, demostrando las cosas bellas de la vida como un excelente recibimiento.

Carlos Guerra

Dedicatoria

A Dios, por su bendición en cada uno de mis proyectos, por ser la guía y el motor de nuestras vidas.

A mi madre, Esther Bejarano, quien ha dedicado su vida a enseñarme el valor de las cosas, y que el trabajo y esfuerzo no solo es hecho para beneficios propios, sino para quienes más queremos.

A mi padre, Javier Reales, aunque no se encuentre en vida sentiría orgullo de las metas alcanzadas hoy en día.

A mi prometida e hijo, Vanessa Herrera y Alejandro Reales, quienes son el motivo y la inspiración diaria para salir adelante.

A mi familia, por todo el apoyo incondicional y las palabras de soporte en los momentos que más son necesarios.

A mi compañero Carlos Guerra, por ser más que un amigo, ser un hermano y enseñarme lo importante que es sonreír en los momentos más difíciles.

Andrés Reales

Agradecimientos

A Dios por permitirme gozar de una buena salud física mental y social en la que me ha permitido hasta el día de hoy desempeñarme de manera exitosa en todos los proyectos que se me han dado la oportunidad de realizar; sin el este trabajo no hubiese podido materializarse.

A mis padres por aconsejarme, guiarme y enderezar mi camino en el transcurso de mi corta vida, por ser ellos un gran ejemplo de vida, dedicación, empeño y arduo trabajo también es de ellos este proyecto.

A mis familiares que me han apoyado en todo momento y circunstancias de la vida que siendo para ellos un orgullo la culminación de mi carrera de pregrado para mí un motivo más para no darme por vencido y seguir adelante.

A la profesora Wendy Morgado y la profesora Margarita Castillo por su paciencia, tolerancia, empeño, consejos para este proyecto de grado e impulsarnos a formar parte de su grupo de investigación, igualmente en la ejecución del proyecto se reflejó su disposición y acompañamiento en todo momento.

A Martha Mendoza, Alfonzo López, por su grata compañía, esfuerzo, dedicación, y apoyo en la ejecución y finalización de este proyecto, por todas las experiencias vividas, por sus consejos y apoyo a lo largo de la carrera universitaria.

A las laboratoristas Erika Arbeláez y Ana Villalobos por tolerarme, ayudarme, tenerme paciencia, por todas las interrupciones que hacía en el laboratorio, por guiarnos en todos los procedimientos, por hacerme pasar excelentes momentos en el laboratorio y fuera de él.

A Jarif Garrido y Marcela Licona por su agradable compañía, guía, consejos, en el laboratorio, además por ayudarnos en la metodología sus aclaraciones, opiniones, y por hacerme pasar mi estadía en el laboratorio más dinámica.

A mis profesores de clases debido a que de cada uno aprendí diferentes cosas no solo a nivel educativo, profesional, sino que además a nivel personal, social haciendo de mí una mejor persona, también por soportarme en todas las clases, por guiarme en trabajos, proyectos y en aconsejarme en todos los ámbitos.

A nuestros amigos en la universidad Andrés Reales, Amilkar Urquijo, Cristian Rodríguez, Humberto Rodríguez, Iuleder de Moya, Javier Polo, Juan llanos, Julián Benavides, Luis Echeverri, Luis Jiménez, Luis Pacheco, Mario Echeverría, Martin Núñez, Mauricio Saltarín, Sebastián Rúgeles, Andrés Silva, Zamir Racedo, Luis Carey que me enseñaron el valor de la amistad aún en la universidad donde se dice que tienes colegas en competencia, ellos demostraron que eso es falso y que la amistad no conoce de fronteras.

Resumen

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo de un relleno sanitario, analizando parámetros tales como: granulometría, textura, humedad, actividad eléctrica, conductividad, pH, nitrógeno, grasas, salinidad, carbono orgánico, materia orgánica, y microbiota fúngica.

La caracterización fisicoquímica y microbiológica del suelo de un relleno sanitario, sustenta su importancia en el momento en que se comprende la permanencia que este tendrá a través del tiempo, es decir, el suelo es un componente ambiental que mantiene a lo largo de la historia y además alberga un sin número de seres vivos que son fundamentales en el desarrollo de la vida.

Las propiedades de los suelos del relleno sanitario tanto para la celda 1 como la celda 2 tienen valores similares, lo que marcó gran diferencia fueron las temporadas seca y lluviosa debido a que todas las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas aumentaron en la temporada lluviosa mejorando calidad del suelo como la humedad, salinidad, conductividad, granulometría, nitrógeno total, pH, materia orgánica, carbono orgánico, contenido de grasa, que estos a su vez condicionaron la actividad microbiológica que también se evidenció aumento en su concentración en esta temporada para todos los géneros que se identificaron como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cándida*, *Paecilomyces*.

Dado los resultados obtenidos en relación con la materia orgánica, carbono orgánico, y nitrógeno, es necesario implementar planes de manejo que contribuyan a mejorar estos parámetros, debido a que sus valores son muy bajos. La deficiencia de estas condiciones está

relacionada al tipo de suelo que predomina en este relleno sanitario, el cual es arenoso, lo que impide la retención de nutrientes.

Palabras claves

Relleno sanitario, propiedades físicas, propiedades químicas, propiedades microbiológicas, hongos.

Abstract

The physicochemical and microbiological properties of the soil of a sanitary landfill were evaluated, analyzing parameters such as grain size, texture, moisture, electrical activity, conductivity, pH, nitrogen, grease, salinity, organic carbon, organic matter and fungal microbiota.

The physicochemical and microbiological characterization of the soil of a sanitary landfill, sustains its importance at the moment when it is understood the permanence that this will have through the time, that is to say, the soil is an environmental component that maintains throughout the history and It also houses a number of living beings that are fundamental in the development of life.

The properties of the landfill soils for both cell 1 and cell 2 have similar values, what made a great difference were the dry and rainy seasons because all the physicochemical and microbiological properties increased during the rainy season, improving soil quality Such as moisture, salinity, conductivity, granulometry, total nitrogen, pH, organic matter, organic carbon, fat content, which in turn conditioned the microbiological activity that also showed an increase in its concentration in this season for all genera Which were identified as *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cándida*, *Paecilomyces*.

Given the results obtained in relation to organic matter, organic carbon, and nitrogen, it is necessary to implement management plans that contribute to improve these parameters, because their values are very low. The deficiency of these conditions is related to the type of soil that predominates in this sanitary landfill, which is sandy, which prevents the retention of nutrients.

Keywords

Sanitary filler, physical properties, chemical properties, microbiological properties, fungi.

Tabla de contenido

Introducción.....	18
Planteamiento del problema.....	21
Justificación del problema.....	23
Objetivos	26
Objetivo general	26
Objetivos específicos	26
Estado del arte	27
Marco teórico.....	31
Suelo.....	31
Parámetros fisicoquímicos del suelo	32
Microbiológico: Hongos	34
Aspectos asociados a los Rellenos sanitarios.....	35
Reacciones químicas asociadas a los rellenos sanitarios	36
Contaminación del suelo asociada a rellenos sanitarios	39
Métodos para descontaminación de suelos	40
Metodología	46
Área de Estudio	46
Muestreo en la zona de Estudio: Toma de muestras suelo.....	50
Metodología para determinación de hongos en suelos	51
Procedimiento Preparación de muestra micológicas.....	51
Preparación del medio.....	51
Parámetros fisicoquímicos de suelos	52
pH con H ₂ O	52
Humedad en suelo	53
Textura del suelo	54
Carbono orgánico	56
Nitrógeno total en suelos.....	58
Actividad eléctrica, conductividad eléctrica del suelo y salinidad.....	60
Determinación de contenido de grasas y aceites	61
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	62
Resultados y Discusión.....	63
Parámetros Físicos	63
Granulometría	63
Humedad y Textura.....	66
Parámetros Químicos	68
Carbono orgánico y Materia orgánica.....	68

Nitrógeno.....	70
Conductividad Eléctrica y Salinidad	71
Grasas	72
pH.....	73
Determinación de la microbiota fúngica	74
Penicillium sp.....	77
Penicillium sp1	78
Aspergillus sp	79
Aspergillus sp1	79
Aspergillus sp2.....	80
Cándida	81
Penicillium sp2.....	81
Paecilomyces sp	82
Descripción de la microbiota fúngica	82
Medidas de restauración.....	84
Cambio en los agregados al suelo	85
Técnica de descontaminación de suelo por lavado	85
Conclusiones	96
Recomendaciones	99
Bibliografía	100
Anexos	109
Tablas Propiedades Físicas	109
Granulometría	109
Humedad	110
Textura	111
Tablas Propiedades Químicas	112
Carbono Orgánico y Materia Orgánica	112
Nitrógeno.....	112
Grasas	113

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Mapa del área de estudio.....	48
Ilustración 2 Mapa del área de muestreo.....	49
Ilustración 3 A, Vista microscópica de <i>Penicillium</i> sp, B. Vista macroscópica de <i>Penicillium</i> sp.....	78
Ilustración 4 A, Vista microscópica de <i>Penicillium</i> sp1, B. Vista macroscópica de <i>Penicillium</i> sp1.....	78
Ilustración 5A, Vista microscópica de <i>Aspergillus</i> sp1, B. Vista macroscópica de <i>Aspergillus</i> sp1.....	79
Ilustración 6 A, Vista microscópica de <i>Aspergillus</i> sp2, B. Vista macroscópica de <i>Aspergillus</i> sp2.....	79
Ilustración 7 A, Vista microscópica de <i>Aspergillus</i> sp3, B. Vista macroscópica de <i>Aspergillus</i> sp3.....	80
Ilustración 8 A, Vista microscópica de <i>Cándida</i> , B. Vista macroscópica de <i>Cándida</i>	81
Ilustración 9 A, Vista microscópica de <i>Penicillium</i> sp2, B. Vista macroscópica de <i>Penicillium</i> sp2.....	81
Ilustración 10 A. Vista microscópica de <i>Paecilomyces</i> sp, B. Vista macroscópica de <i>Paecilomyces</i> sp.....	82

Lista de tablas

Tabla 1 Límites permisibles para contaminantes de hidrocarburos.....	43
Tabla 2 Principales funciones del suelo.....	44
Tabla 3 Principales amenazas del suelo.....	44
Tabla 4 Algunas mezclas de residuos y suelos que presentan buen rendimiento.....	45
Tabla 5 Granulométrica de suelo	64
Tabla 6 Propiedades físicas del suelo	66
Tabla 7 Parámetros Químicas del suelo	68
Tabla 8 Concentración (UFC/g) de hongos identificados en Temporada Seca	74
Tabla 9 Concentración (UFC/g) de hongos identificados en Temporada Lluvia	75
Tabla 10 Medidas de restauración	86
Tabla 11 Resultados granulometría celda 1 Temporada lluvia	109
Tabla 12 Resultados granulometría celda Temporada lluvia 2	109
Tabla 13 Resultado humedad celda 1 Temporada lluviosa y seca.....	110
Tabla 14 Resultado humedad celda 2 Temporada lluviosa y seca	111
Tabla 15 Resultado textura celda 1 Temporada lluviosa y seca	111
Tabla 16 Resultado textura celda 2 Temporada lluviosa y seca	111
Tabla 17 Resultado grasas celda 1Temporada lluviosa y seca	113
Tabla 18 Resultado celda 2 Tabla Temporada lluviosa y seca	113

Listado de graficas

Gráfica 1 Curva Granulométrica para el suelo de la celda 1	63
Gráfica 2 Curva Granulométrica para el suelo de la celda 2	64

Listado de figuras

Figura 1 Terreno preparado para la operación	37
Figura 2 Proceso de llenado de la zanja	37
Figura 3 Conformación de la primera celda	38
Figura 4 Descargue de residuos por vehículos	38
Figura 5 Conformación de la capa superior de la celda	39
Figura 6 Celda sellada	39

Glosario

Agar: Es un elemento solidificante muy empleado para la preparación de medios de cultivo. Se licúa completamente a la temperatura del agua hirviendo y se solidifica al enfriarse a 40 grados.

Celda activa: Es el sitio donde se depositan los residuos que ingresan al relleno sanitario (disposición diaria de los residuos sólidos).

Celda pasiva: Es el sitio donde ha clausurado completamente una celda destinada a la deposición de los residuos, y se monitorea el proceso de descomposición en la etapa de estabilización.

Colonias: Una colonia es una agrupación de microorganismos formada a partir de la reproducción de una Unidad Formadora de Colonia (UFC) sobre un medio sólido.

Contaminantes: Son Aquellos fenómenos físicos, sustancias, elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, los cuales causan efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

Esterilización: Es un proceso en el cual se somete a altas temperaturas y presión un material o una sustancia con la finalidad de eliminar microorganismos que presente en él.

Hongo: Son organismos que tienen células eucariotas y son heterótrofos. Sus células poseen una pared gruesa de un compuesto polisacárido, el cual les provee rigidez y resistencia.

Humedad: Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Establecer el índice de humedad del suelo es de vital importancia para las actividades agrícolas.

Materia Orgánica: es un constituyente transitorio del suelo, permaneciendo desde unas pocas horas hasta unos cientos de años, su influencia en las propiedades de los suelos es muy grande: agrega las partículas minerales, incrementa la cantidad de agua que puede retener el suelo, es fuente de nutrientes (N, P, S), es capaz de retener iones, etc.

Potencial Hidrogeno: Es un parámetro del suelo que mide la actividad de los H^+ libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H^+ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial).

Relleno sanitario: Es un sitio destinado a para la operación y disposición final de desechos o residuos sólidos.

Residuos sólidos: Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o de pósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.

Salinidad: Es un fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y a la presencia de materiales originales ricos en sales, como sucede con ciertas margas.

Suelo: El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre en la que viven numerosos organismos y crece la vegetación y le proporciona los elementos nutritivos necesarios para su desarrollo.

Textura: El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño. Conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para agrupar a los constituyentes del suelo según su tamaño se han establecido muchas clasificaciones. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase.

Introducción

El suelo ha jugado un papel fundamental en la historia, ya que brinda a los seres vivos una superficie donde pueden desarrollar las actividades necesarias para asegurar su existencia a través del tiempo; por ejemplo, el suelo le permite a los hombres obtener el sustento alimenticio por medio de los cultivos y actividades agropecuarias, también sirve para construcciones que salvaguarden la integridad física y proporcionen unas condiciones mínimas de calidad de vida (Jaramillo J, 2002). Por lo anterior es importante conocer las características físicas, químicas, y microbiológicas que un suelo posee, pues de estas dependerán los diferentes usos que pueda tener, es decir, según sus propiedades podrá servir para cultivar una o más especies vegetales que brinden una fuente de alimentación o pasto para el ganado y en el caso adverso que el suelo no sea adecuado para la fertilización (Taiz & Zeiger, 2006).

De las características físicas más comunes evaluadas en un suelo, se encuentran la textura, humedad, granulometría, actividad eléctrica, porosidad, entre otras, y en relación al aspecto químico se tiene en cuenta el pH, conductividad, intercambio catiónico, nitrógeno, fosforo, silicatos, grasas, carbono orgánico, materia orgánica, salinidad y diferentes metales; la conjunción adecuada de estas propiedades crea unas condiciones óptimas para la aparición de microorganismos como los hongos, que contribuyen a los fenómenos físicos y químicos que se dan en el suelo, a través de la fijación de compuestos, intercambio de fluidos, y degradación de la materia orgánica (Jaramillo J, 2002).

Un servicio importante que tiene el suelo para la humanidad, es de servir como almacén de los residuos producidos a diario por las actividades humanas; el proceso de elección del tratamiento,

aprovechamiento y destino último de los desechos es fundamental en toda gestión integral de residuos sólidos, pues en ella se decide cual será el manejo adecuado de los desechos generados en una comunidad, comúnmente en sur América estos son destinados a un relleno sanitario, que consiste en una celda trapezoidal impermeabilizada en la que se compactan los residuos y se cubren con arena la cual también es compactada, repitiendo esto hasta llegar a una altura definida por el proyecto (Jaramillo, 2002).

En Colombia la normatividad define las características mínimas para la prestación del servicio de aseo, dado en el decreto 2981 del 2013, en el que precisan las actividades pertinentes a este servicio y se implementan los planes de gestión integral de residuos sólidos municipales, que sirven como herramientas para el manejo y aprovechamiento adecuado de los residuos generados en las urbes; además en el decreto 838 del 2005 se dictan los ítems a tener en cuenta para la localización, construcción y operación de un relleno sanitario, en el que se evalúan las diferentes condiciones de las áreas, al igual que se ordena que los lugares con potencialidad de uso deben estar contemplados en las diferentes herramientas de ordenamiento territorial, como lo son los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), Planes Básicos de Ordenamiento Territorial (PBOT), Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT), exceptuando del uso a las zonas de protección entre otros aspectos.

El sistema de disposición final objeto de estudio, consiste en un relleno sanitario localizado a 15 kilómetros de Barranquilla, en la vía Juan Mina-Tubará a 5 kilómetros del corregimiento de Cuatro Bocas; sobre un área total de 135 hectáreas, 75 son destinadas para la disposición de aproximadamente 2000 toneladas diarias de desechos sólidos municipales. El relleno sanitario cuenta con una zona de descargue de residuos, los cuales son esparcidos y compactados (celda

activa), las terrazas de las celdas de disposición generan evacuación de gases producidos por la degradación anaerobia de los residuos orgánicos (celdas pasivas), y un sistema de tratamiento con dos piscinas de lixiviados. En el año 2009 en el departamento del Atlántico-Colombia, dio inicio a la operación, brindando una solución al manejo de desechos urbanos en el departamento, cuenta con una vida útil de 30 años para luego convertirse en un parque ambiental en su etapa de postclausura, donde el uso del suelo en su totalidad será destinado para áreas verdes, senderos ecológicos y parque verdes (Morgado Gamero, 2017). Dentro la gestión ambiental que se integra al proyecto se tiene en cuenta el control y seguimiento a impactos que se puedan generar a los diferentes componentes ambientales, sin embargo, no tienen previsto un plan de manejo para la calidad del suelo, teniendo en cuenta que el uso posterior a la clausura es área de protección y zonas verdes; por esto se considera importante establecer una línea base del estado en que este se encuentra el suelo de este relleno sanitario.

Planteamiento del problema

Los residuos sólidos municipales han sido reconocidos como uno de los principales contaminantes del ambiente. En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado, como Argentina 53,2%; Paraguay 56,6%; Bolivia 59,5%; Guatemala 63,3%; Colombia 52,3 %. De los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento; el resto es confinado en vertederos o rellenos sanitarios; otro porcentaje es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación de cerdos, sin un debido control y procesamiento sanitario (Jaramillo Henao & Zapata Marque, 2008).

El manejo de residuos sólidos generados por las actividades diarias de una sociedad, se ha convertido en una problemática desde el momento en que los humanos pasaron de ser nómadas a sedentarios, dado que empezó la acumulación de estos en los lugares en que se asentaban; actualmente el problema se ha magnificado por el crecimiento de la población y el modelo económico consumista que predomina mundialmente, lo que presenta un desafío a la gestión pública que busca satisfacer las necesidades básicas y brindar un ambiente adecuado para el desarrollo de las comunidades (Calva Alejo & Rojas Caldelas, 2014).

Una de las técnicas de manejo de residuos, son los rellenos sanitarios, los cuales cumplen la función de confinar los residuos sólidos generados a diarios en los diferentes asentamientos, aunque esta sea una solución, no deja de impactar sobre el suelo en que se realiza la actividad ya que aumenta la degradación del suelo, además de la disminución de su calidad y el impacto generado en el bienestar del ambiente y de la humanidad (Jaramillo, 2002),.

El impacto que genera en la calidad del suelo puede evaluarse a través de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, Las propiedades físicas del suelo como textura, granulometría, humedad, densidad, conductividad, y parámetros químicos como pH, nitrógeno, carbono orgánico, materia orgánica, y grasas permiten identificar como han cambiado las condiciones naturales en las áreas donde el proyecto ha intervenido (Corporacion Regional Autonoma de Cundinamarca, 2010).

La intención de este proyecto es dar con una respuesta al siguiente interrogante, ¿Cuál es la calidad del suelo a nivel fisicoquímico y microbiológico en la etapa de operación de un relleno sanitario en el departamento del atlántico?

De este interrogante central, se derivan el siguiente interrogante:

¿Cómo varían las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas entre las etapas de operación de relleno sanitario?

¿Qué diferencias predominan entre una temporada de lluvia y una de sequía?

¿Qué estrategias se pueden implementar para la restauración u optimización de las condiciones del suelo de un relleno sanitario?

Justificación del problema

En la actualidad existe una carencia de criterios universales que permita realizar una evaluación sobre los cambios en la calidad del suelo. Existen diversas variables que permiten identificar las condiciones del suelo y son conocidas como indicadores; debido a que estos son instrumentos de análisis que permiten cuantificar y simplificar fenómenos complejos, tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, recursos naturales, salud, entre otros), para la calidad del suelo pueden ser físicos, químicos, y biológicos, estos tienen como finalidad facilitar y validar las comparaciones de la calidad del suelo a nivel nacional e internacional, por lo que se sugiere no seleccionar un grupo para cada situación particular, por el contrario, debería existir un estándar en todos los casos (Bautista Cruz, Etchevers Barra, Gutierrez, & Del Castillo, 2004).

La calidad del suelo se puede ver afectada dependiendo del uso que este recibe, en el caso de un relleno sanitario se presentan cambios a nivel físico, químico y biológico; los que a su vez se encuentran relacionados; los cambios físicos que suceden se deben a la compactación de los residuos, difusión de gases dentro y fuera del relleno, ingreso de agua y movimientos de líquidos, dentro de los cambios químicos predominan reacciones por la evaporación de compuestos; reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas confinadas en el relleno; en los cambios biológicos con más relevancia se encuentran los microorganismos, los cuales se encuentran asociados a la fracción de microbiota que descomponen la materia orgánica contenida en el suelo (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenaker, & Sereno, 2010).

Los suelos donde el proyecto es ejecutado se caracterizan por ser arenosos, condición que afecta las concentraciones de elementos necesarios para desarrollo de vegetación (fosforo, nitrógeno, carbono entre otros), la fauna fúngica en estas zonas desempeña un papel importante al aportar agarre a las raíces, al igual que proporcionan nutrientes a través de la degradación de los diferentes materiales que los hongos consumen y transformen en abono para la vegetación naciente; cabe resaltar que los hongos conforman una fracción importante de la biomasa total microbiana del suelo, ya que crecen en forma de red extendiéndose como micelio hasta su estado reproductivo donde dan origen a esporas sexuales o asexuales. Estos representan gran significancia en la composición del suelo, debido a que son importantes degradadores de materia orgánica en descomposición en suelos con características ácidas. (Huamán, 2011).

En este sentido, el desarrollo de este estudio se justifica en diferentes aspectos; desde el punto de vista nacional y normativo, es necesario establecer las condiciones del suelo de un relleno en etapa de operación y abandono, especialmente por la ausencia de reglamentación legal o técnica vigente, que permita comparar los parámetros físicos químicos y microbiológicos en la medida que el proyecto se desarrolla; los impactos ambientales acumulativos como los relacionados con este factor abiótico deben ser tratados en la inmediatez del tiempo, no a la finalización del proyecto. Desde el punto de vista local, y ecológico, el Departamento del Atlántico, es un departamento con altísimos índice de desertificación, por lo cual es sumamente importante que un proyecto con 30 años de vida útil y 135 hectáreas, cumpla con una serie de medidas que permitan que el uso del suelo cuando parque ambiental sea clausurado, no represente riesgo para la salud o el medio ambiente, siendo provechoso para la comunidad y el desarrollo económico del departamento; por ultimo desde el punto de vista sectorial y técnico, en aras de garantiza el

buen desempeño ambiental, conservar la imagen organizacional y el compromiso de responsabilidad social, la organización debe hacer una evaluación introspectiva de los recursos y esfuerzos que se están implementando en la actualidad para garantizar que el suelo sea útil en un futuro a mediano plazo, en los próximos veinte años; la calidad del suelo del relleno sanitario debe ser representativo de la gestión ambiental y de la inocuidad que desempeña la organización durante la vida útil del proyecto.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del suelo de un relleno sanitario en el departamento del atlántico.

Objetivos específicos

- Determinar la composición de la microbiota fúngica y las características fisicoquímicas del suelo del relleno sanitario.
- Comparar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas entre celdas pasivas y activas del relleno sanitario
- Proponer medidas orientadas a la restauración de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del suelo del relleno sanitario.

Estado del arte

Debido a las diferentes funciones que el suelo cumple para la humanidad, este se ve en riesgo de ser afectado por los diferentes residuos de las actividades desarrolladas en él, un estudio evalúa la relación de las propiedades físicas y químicas de suelos con contaminantes presentes en estos, en la Universidad Autónoma de Querétaro se dirigió una investigación que buscaba definir la relación entre las características fisicoquímicas de los suelos con la concentración de mercurio de estos mismos, en esta se determinó que aparentemente no existe una correlación entre el mercurio con las propiedades evaluadas (Huerta Cantera, 2010).

Garcia, Ramirez & Sanchez (2012), manifiestan en su investigación “Indicadores de la calidad de suelos: una nueva manera de evaluar este recurso” la inexistencia de criterios universales que permitan evaluar el estado en que se encuentra un suelo afectado por actividades antrópicas, por lo que proponen definir indicadores físicos, químicos y biológicos. De lo anterior sugieren los siguientes parámetros físicos, estructura del suelo, densidad aparente, infiltración, y conductividad hidráulica; en relación a las características químicas consideran aquellas reacciones que beneficien o afecten la interacción suelo-planta, entre las que están el pH, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo e intercambio de cationes; para las condiciones biológicas se tienen en cuenta la presencia de macroinvertebrados, la formación de comunidades macrobiales, hongos y la relación del carbono microbiano (Garcia, Ramirez, & Sánchez, 2012).

En la ciudad capital de Córdoba fue llevado a cabo un estudio con el fin de seleccionar los indicadores adecuados para la determinación de la calidad del suelo y los efectos causados por el

uso en prácticas agrícolas, obteniendo como resultado que los parámetros más sensibles y sencillos de obtener según su uso son los relacionados a fertilidad, entre los que están la materia orgánica, el carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo y otras fracciones de compuestos que sirven como nutrientes, la relación que esto presenta con los suelos de un relleno sanitario radica en el uso post-clausura que estos reciben, pues se pretenden destinar como parques ambientales y zonas verdes, siendo importante conocer las condiciones en la que se encuentre (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenaker, & Sereno, Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba, 2010).

La utilidad que representan los indicadores de calidad del suelo radica en que estos sirven como herramienta para la gestión adecuada de este componente ambiental, porque permite la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo según los parámetros evaluados y su uso potencial, estos no buscan tener un grupo único debido a que los agro-ecosistemas responden a condiciones particulares, sin embargo la elección para su evaluación debe responder a la naturaleza y manejo del suelo, lo que implica condiciones como clima, facilidad de medición, y cualidades del campo (Navarrete Segueda, Vela Correa, Lopez Blanco, & Rodriguez Gamiño, 2011).

Otros estudios han evaluado parámetros fisicoquímicos buscando la correlación que existe entre el tiempo de irrigación a terrenos con aguas residuales, determinando si existe presencia de metales pesados que interfieran en los diferentes fenómenos químicos de los suelos, afectando en algún momento las siembras que se den en estos lugares (Prieto garcia, Lucho Constantino, Poggi Valardo, Alvarez Suarez, & Barrado Esteban, 2015) .

En relación a Colombia, Combatt, Martínez & Polo (2005) evaluaron las condiciones fisicoquímicas de suelos con potencialidad agroforestal de los municipios de Tierralta, Valencia y Montelíbano en el departamento de Córdoba con el propósito de establecer la correlación entre las propiedades de los suelo, evidenciaron que lugares con similares resultados en sus parámetros se relacionaban, en este caso Tierralta y Montelíbano quienes tenían una reacción acida menor a 5.5, lo que presento una marginalidad en sus suelos, esto lo obtuvieron aplicando los métodos estadísticos de Kruskal y Wallis, (Combatt, Martinez, & Polo, 2005). Así mismo, la investigación denominada ***“Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos”***, concluyo que los residuos sólidos municipales y su interacción con el suelo, representan un riesgo para el compostaje y adecuación de suelos, debido a que pueden proporcionar altos niveles de salinidad, toxicidad, generación de emisiones y malos olores; por lo que consideraron evaluar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los proceso del compostaje (Puerta Echeverri S. M., 2004).

En el relleno sanitario “La Glorieta” se evaluaron las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, con el propósito de saber si las técnicas aplicadas en este sitio de disposición final eran eficientes, comparando los resultados obtenidos entre los diferentes vasos, determinando que el vaso 1 presenta mejores condiciones con respecto a los demás, siendo este el que tiene más tiempo en restauración, por lo cual concluyeron que a través del tiempo estos tienden a recuperar sus condiciones por medio de la biorremediación (Soto Cañas, Ocampo Castaño, & Bueno Lopez, 2016).

El tratamiento de suelos juega un papel importante en la restauración de ellos, pues acelera la recuperación de las propiedades afectadas, permitiendo una dinámica más activa en su uso. La

revista Facultad Nacional de Agronomía publicó un artículo en el que exponen la evaluación de algunas tecnologías para la recuperación de suelos afectados por la salinidad, aplicando 3 métodos no convencionales (Biofertilización, biopolímeros y electromagnetismo) y 1 convencional (intercambio yeso-azufre) para el tratamiento de este, además de un testigo absoluto que fue el drenaje; obteniendo como resultado que los métodos más efectivos son los biológicos, los biofertilizantes y el electromagnetismo proporcionan una respuesta más óptima para fisiología y productividad del suelo (Zuñiga escobar, Osorio Saravia, Cuero Guepende, & Peña Ospina, 2011).

Marco teórico

El suelo a través del tiempo ha sido un componente fundamental en el desarrollo de un sin número de especies, ya que brinda el soporte que permite las interacciones entre los diferentes componentes (agua, aire, organismos, material en descomposición), la concepción que este ha poseído ha cambiado a medida que avanza el tiempo y cambian las costumbres de las sociedades, un ejemplo de esto se observa en las ideas que poseían las personas de épocas anteriores al siglo XIX a diferencia de las comunidades actuales, en donde las primeras referían al suelo como un suministro de materiales necesarios para la subsistencia, lo anterior en comparación a lo actual cambia desde el punto de vista en que ya el suelo no es visto solo como una fuente de suministros, sino como un bien ambiental, que brinda ciertos servicios ambientales y aparte posee un aspecto naturalista o de preservación de este; de esta forma al término de suelo se acuñan los siguientes conceptos “Pedología, en donde se considera el suelo como un cuerpo natural cuyas propiedades interesan para establecer su origen y su clasificación, sin importar sus posibilidades de uso; Edafología, en donde el suelo es tomado como el soporte para las plantas, es decir, se estudia desde un punto de vista netamente práctico, orientado a obtener los mejores rendimientos agropecuarios posibles. (Lyttleton y Buckman, 1944)” (Jaramillo J, 2002).

Suelo

De acuerdo a lo expuesto, el suelo es definido como un material no consolidado a la superficie de la tierra, el cual está compuesto por materia orgánica, minerales, microorganismos vegetales, animales, agua y aire; este material se ha acumulado con el paso del tiempo y con ayuda de factores climatológicos y biológicos como el viento, las temperaturas, las escorrentías de aguas,

la degradación de la materia orgánica por acción de organismos, que a su vez facilitan que esta se combine con el suelo y permita el crecimiento de especies vegetales y microorganismos fúngicos y bacterianos. El proceso de formación de este es lento y complicado, puesto que sin las condiciones adecuadas no se podrá tener una superficie estable, que permita el desarrollo de las diferentes especies vegetales y animales las cuales se ven determinadas por las propiedades fisicoquímicas que posea el suelo; de este proceso de formación dependerán las características físicas y químicas del suelo, ya que los elementos que interactuaron en su origen, mencionados anteriormente, serían los encargados de definir las propiedades como textura, estructura, drenaje, aireación, humedad, granulometría, conductividad, salinidad, pH, materia orgánica, carbono orgánico, grasas, fosforo, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y aniónico, potasio, y calcio (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996).

Parámetros fisicoquímicos del suelo

Granulometría

La granulometría define el tamaño de las partículas del suelo, lo que nos permite identificar el tipo de suelo que es, lo que sirve para estudios de procesos de erosión selectiva, debido a que se puede identificar si se presenta una granulometría heterogénea indicando la existencia de pedregosidad lo que limita diferentes fenómenos en el suelo (Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2009).

Humedad

Se define como la cantidad de agua que posee un suelo, esta influye directamente en la textura, materia orgánica, entre otros, niveles adecuados de humedad favorecen la calidad del suelo porque proporcionan el desarrollo de microorganismos, la vez son capaces de permitir la

disolución de sustancias y facilitar el transporte de estas en el suelo (Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2009).

Textura

Establece las porciones respectivas que se encuentran en un suelo, en relación a partículas de diámetro menor a 2 mm, las cuales se clasifican en tres tipos según su tamaño, Arena (A), Limo (L), Arcilla (Ar) (Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2009).

Actividad eléctrica y conductividad

Se define como el potencial de transmitir la electricidad, propiedad relacionada con el contenido de sales.

pH

Es el potencial hidrogeno, el cual se consigue con el logaritmo del inverso de la concentración de H₂O que hay en porción del suelo (Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2009).

Carbono orgánico y materia orgánica

Se define como al material ya sea de origen animal o vegetal que este descompuesto, o parcialmente descompuesto y sin descomposición presente en el suelo.

Nitrógeno

Elemento que fundamental en el desarrollo de plantas, el cual se manifiesta mediante varias fases en nitritos, nitratos, que son fijados por medio de microorganismos.

Salinidad

Concentración de sales presentes en el suelo, es una propiedad importante, ya que altos niveles de estos implican en el comportamiento eléctrico que este posea, al igual que también representa riesgos para la vegetación presente en ellos.

Grasas

Compuestos orgánicos de cadenas largas de carbono, que indican el porcentaje de grasas y aceite presentes en la materia orgánica del suelo, característica de importancia en evaluaciones de suelos contaminados con residuos con alta carga orgánica (Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2009).

Microbiológico: Hongos

Los hongos son organismos eucariontes que constituyen un grupo complejo, tan grande que se calculan alrededor de 200.000 especies, que incluyen mohos, levaduras, royas, entre otros. Estos pueden en los medios más variados, y sólo alrededor de 400 son necesariamente patógenos para mamíferos, así como para plantas, insectos (entomógenos) o de otros hongos (microparásitos), y mientras que unos cientos son hongos oportunistas. Normalmente son multicelulares ya que cuentan con filamentos tubulares llamados hifas que a su vez cuenta con una red llamada micelio el cual es el encargado de la reproducción de esporas. Estas esporas pueden ser liberadas por procesos pasivos, utilizando el viento u otras fuerzas externas, o por procesos activos donde una expulsión se puede producir por presión osmótica o la tensión superficial (Arenas, 2011).

Aspectos asociados a los Rellenos sanitarios

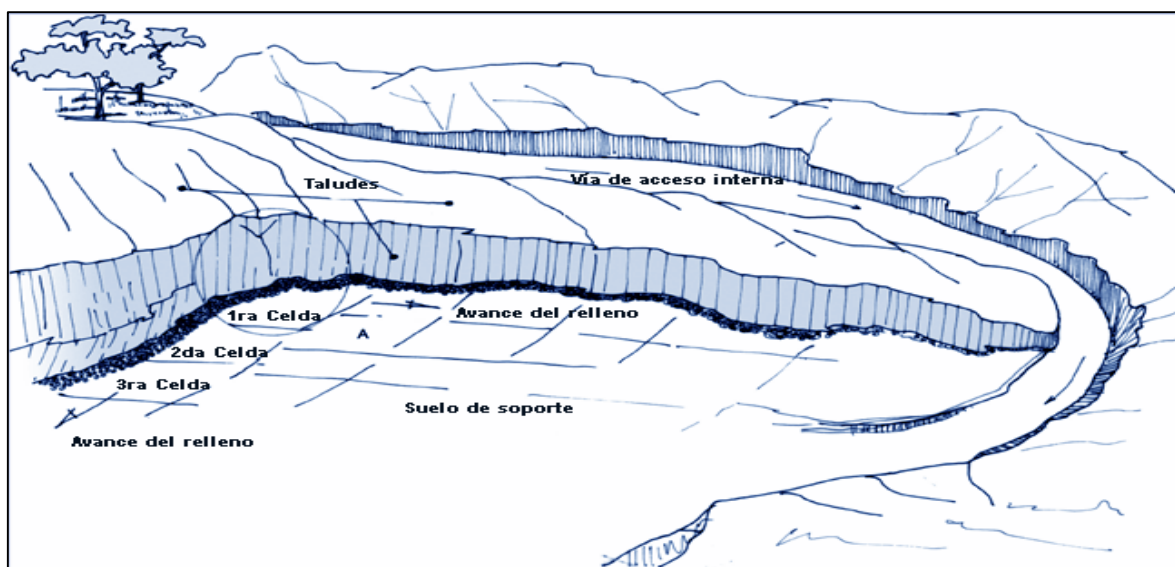
Uno de los servicios ambientales más comunes que presta el suelo, es el de ser receptor de residuos de diferentes tipos, normalmente y en los mejores casos esto se da a través de rellenos sanitarios, ya que existen eventos en que estos residuos son dispuestos a la intemperie en botaderos a cielo abierto donde no se cuenta con las instalaciones y medidas de seguridad necesarias que busquen controlar los diferentes impactos negativos asociados a la actividad desarrollada en estos lugares, tales como olores, propagación de fauna nociva, alteraciones del paisaje, entre otros (Taborda, Aspectos Legales de la gestión integral de residuos sólidos urbanos en la provincia de Buenos Aires, 2008).

Un relleno sanitario, es una técnica ingenieril que permite confinar residuos en celdas o vasos cavados en suelo impermeabilizado previamente, la construcción adecuada de este deberá contar con unos criterios mínimos para su diseño, instalación, operación, mantenimiento y todo lo relacionado a su gestión y seguimiento, por ejemplo se debe tener certeza en la producción per cápita de residuos por habitante, y así estimar la generación diaria de la población, pues esto determinara las áreas del proyecto y volúmenes de los vasos, también es importante conocer la composición de los residuos, es decir, el porcentaje correspondiente a cada tipo de residuos (PET, papel, restos orgánicos, etc.) ya que estos nos aportara la información de compactibilidad y densidad de los desechos recolectados de la población, entre otros criterios se encuentra la localización del proyecto, condiciones hidrogeológicas, vías de acceso al terreno, topografía del terreno, características del suelo, planes de contingencias, eliminación y tratamiento de lixiviados y gases (Cantanhede & Sandoval, 1997).

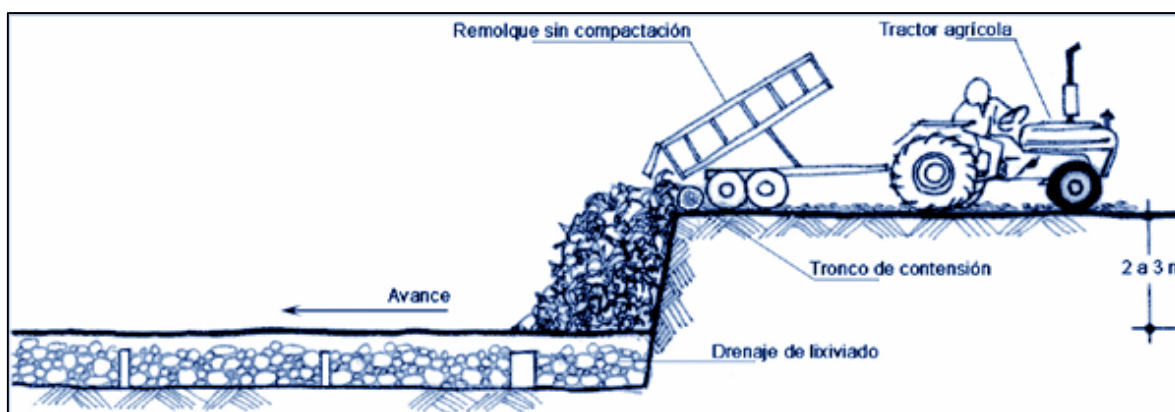
Reacciones químicas asociadas a los rellenos sanitarios

Dado los diferentes tipos de residuos que están presentes en un relleno sanitario es normal que estos presenten reacciones químicas, entre las más comunes son están las de óxido-reducción, también está la disolución y suspensión de materiales o productos de conversión biológica que dan resultados líquidos que se filtran a través de las diferentes capas de residuos, arena, espumas y otros agregados que son compactados para confinar los desechos; además se dan reacciones de deshalogenación y adsorción de COV's. La importancia de estos fenómenos químicos, especialmente la descomposición de sustancias orgánicas reside en qué, si se dan de forma adecuada se podrá transportar por medio de los lixiviados las sustancias que no favorecen a las condiciones del suelo (Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, 2009).

Las operación presentada en un relleno sanitario, consta de diferentes procedimientos, entre los que podemos encontrar, la definición de la celda diaria trabajar, siguiendo con el descargue de los residuos, esto con el fin de tener un área delimitada de trabajo, después es necesario esparcir los desechos lo largo y ancho de la celda con el fin de compactarlos de forma correcta, para luego cubrir con arena y volver a compactar; esto se repite de forma consecutiva hasta alcanzar la altura calculada al inicio del proyecto, de la *figuras 1* hasta la *6* muestran cómo se pueden hacer estos procesos de forma manual (Organización Panamericana de la Salud, 2007).



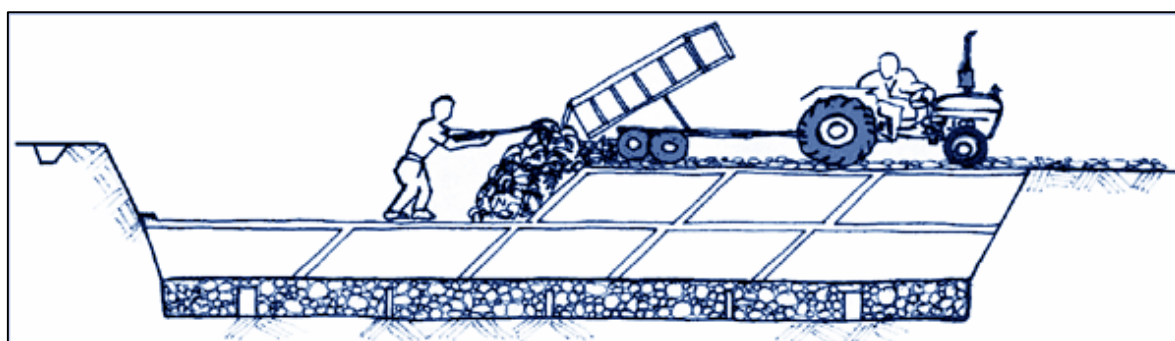
Organización Panamericana de la Salud. (2007). Terreno preparado para la operación (Figura 1). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad7.html



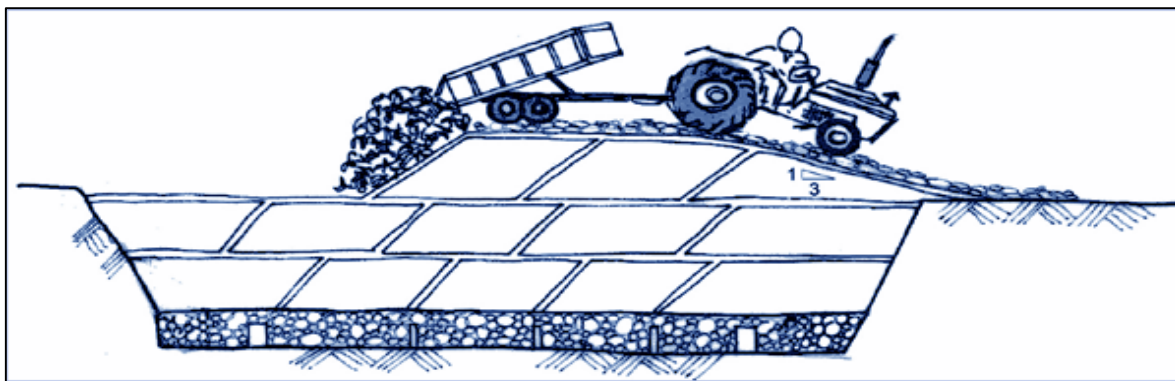
Organización Panamericana de la Salud. (2007). Proceso de llenado de la zanja (Figura 2). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad7.html



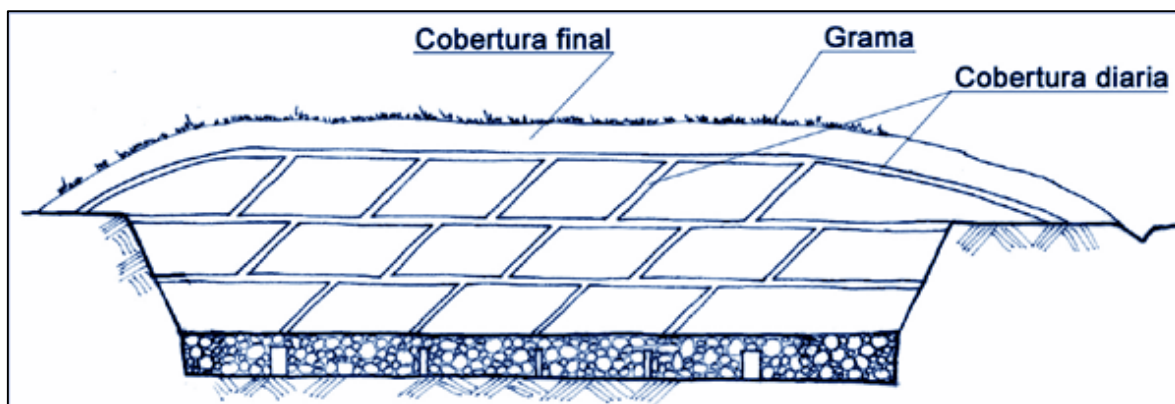
Organización Panamericana de la Salud. (2007). Conformación de la primera celda (Figura 3). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad7.html



Organización Panamericana de la Salud. (2007). Descargue de residuos por vehículos (Figura 4). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad7.html



Organización Panamericana de la Salud. (2007). Conformación de la capa superior de la celda (Figura 5). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad7.html



Organización Panamericana de la Salud. (2007). Celda sellada (Figura 6). Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad7.html

Contaminación del suelo asociada a rellenos sanitarios

El suelo se puede ver deteriorado por la acumulación de sustancias que a ciertos niveles lo afectan de manera negativa, dicha acumulación puede darse de forma endógena o exógena, es decir, naturalmente o por contaminación antrópica. Normalmente un suelo es contaminado por las actividades humanas, por lo que se han desarrollado estudios que permitan la identificación de contaminantes, así mismo, se debe reconocer los valores admisibles para cada una de las sustancias consideradas como dañinas y tener en cuenta los aspectos del suelo que pueden influir

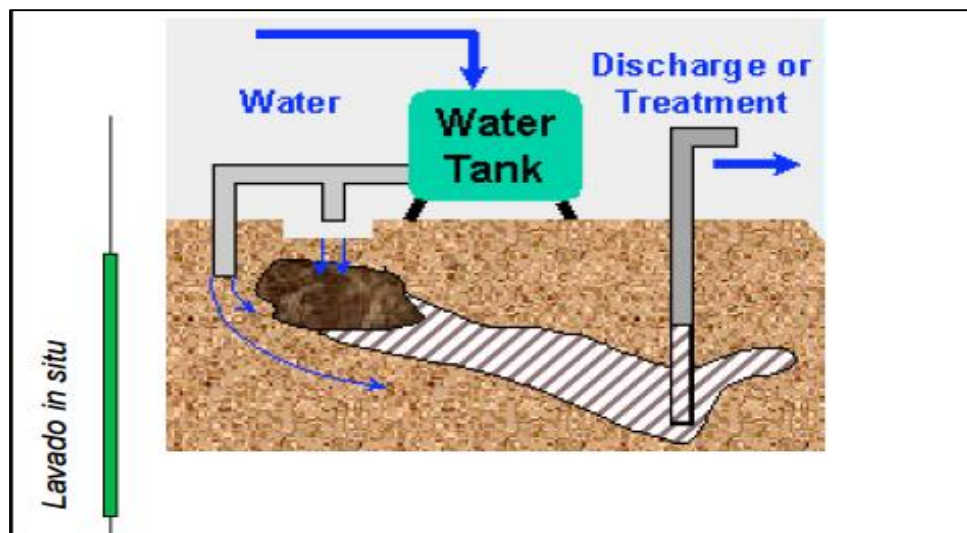
en la reacción que este tenga ante estas sustancias, son factores como la vulnerabilidad, capacidad de amortiguación, biodisponibilidad, movilidad, carga crítica y persistencia, conociendo esto se han desarrollado técnicas y tecnologías para el tratamiento de suelos contaminados (Garcia & Dorronsoro, 2005).

Métodos para descontaminación de suelos

Existen diversos métodos para el tratamiento de suelos, entre los que encontramos: la anulación de suelo, técnicas físicas, químicas, y biológicas. De las que podemos resaltar algunos como el de lavado, extracción química y oxido-reducción.

Lavado

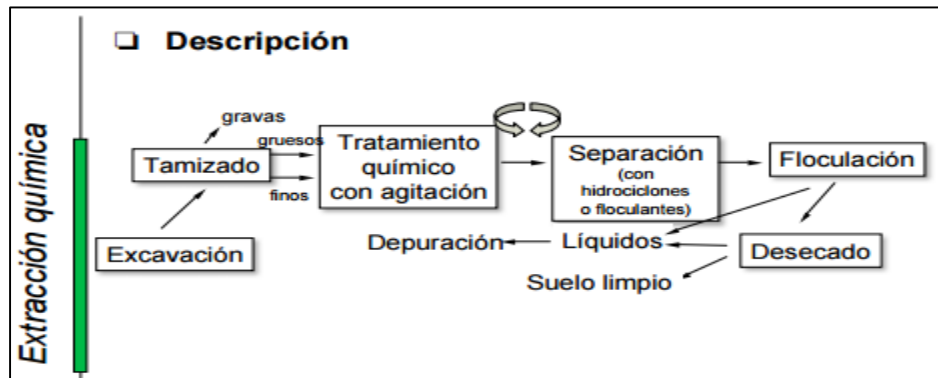
Es un método de extracción de contaminantes dado por la inyección de agua, que dependiendo del evento requieren o no ayuda de un aditivo, este método es útil en suelo contaminados por COV's, SVOCs que sean solubles en agua, algunos metales pesados, cianuros y compuestos inorgánicos. En el *esquema 1* se puede observar un esquema de su funcionamiento (Dorronsoro Fernandez, 2012).



Dorronsoro, C (2012). Descontaminación de suelos por lavado (Esquema 1). Recuperado de <http://www.edafologia.net/desconta/index.htm>

Extracción química

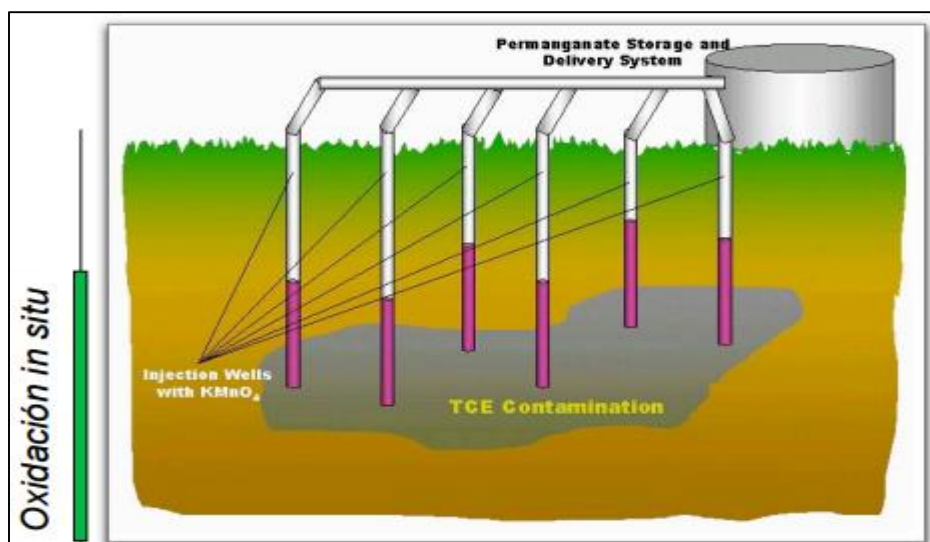
Método que mediante de reactivos disuelve los contaminantes presentes en el suelo con ayuda de unos procesos físicos por los que se separan los diferentes tipos de suelos, el *esquema 2* muestra los procesos que este método emplea.



Dorronsoro, C (2012). Descontaminación de suelos por extracción química (Esquema 2). Recuperado de <http://www.edafologia.net/desconta/index.htm>

Oxidación/reducción

Consiste en la transformación de agentes contaminantes en sustancias menos tóxicas, y de fácil asimilación como el CO_2 y H_2O , esto gracias a la transferencia de electrones por agentes reductores u oxidantes, generalmente la eficiencia de este método está en un rango mayor al 90%. El *esquema 3* muestra cómo se puede llevar a cabo.



Fuente: Dorronsoro, C (2012). Descontaminación de suelos por la técnica de Oxido-Reducción (Esquema 3). Recuperado de <http://www.edafologia.net/desconta/index.htm>

La contaminación de suelos ha sido un tema de interés en procesos de investigación científica y vigilancia por parte de autoridades ambientales; en Mexico se han establecidos criterios que determinan los límites permisibles de hidrocarburos, esto debido a que los casos más comunes en la alteración de las propiedades del suelo se deben a derrames o vertimientos de hidrocarburos, dado al manejo inadecuado de residuos o materiales peligrosos; se han generado centros e instituciones de investigación que crean cada día técnicas más avanzadas que permiten una restauración optima del suelo, por ejemplo, tecnologías aplicadas por las organizaciones del sector hidrocarburos, donde incuban y propician el desarrollo de microorganismos propios de suelo que aprovechan como fuente de alimento estos contaminantes, degradándolos y convirtiéndolos en sustancias simples, facilitando la asimilación por otros microorganismos, disminuyendo a la vez la alteración de las características del suelo (Ortinez Brito, Ize Lema, & Gavilán García, 2003).

Ortínez Brito, Ize Lema, Gavilán García. (2003). Límites permisibles para contaminantes de hidrocarburos (Tabla 1).

Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/539/53906906.pdf>

CONTAMINANTES	USO PREDOMINANTE DEL SUELO			METODO ANALÍTICO (EPA)	
	AGRICOLA, FORESTAL, RECREATIVO Y DE CONSERVACION	RESIDENCIAL COMERCIAL	INDUSTRIAL		
<i>Gasolina</i>					
HTP	200.00	200.00	500.00	8015B	
Benceno	20.00	20.00	50.00	8240,*	8260*
Tolueno	40.00	40.00	100.00	8240,*	8260*
Xilenos	40.00	40.00	100.00	8240,*	8260*
<i>Diesel</i>					
HTP	1000.00	1000.00	2000.00	8015B	
Benzo(a)pireno	0.08	0.08	0.80	8310,*	8270*
Benzo(a)antraceno	0.80	0.80	8.00	8310,*	8270*
Benzo(b)fuoranteno	0.80	0.80	8.00	8310,*	8270*
Benzo(k)fuoranteno	8.00	8.00	80.00	8310,*	8270*
Criseno	80.00	80.00	800.00	8310,*	8270*
<i>Productos aceitosos</i>					
HTP	1000.00	1000.00	2000.00	418.1	
Benzo(a)pireno	0.08	0.08	0.75	8310,*	8270*
Benzo(a)antraceno	0.80	0.80	7.50	8310,*	8270*
Benzo(b)fuoranteno	0.80	0.80	7.50	8310,*	8270*
Benzo(k)fuoranteno	8.00	8.00	75.00	8310,*	8270*
Criseno	80.00	80.00	750.00	8310,*	8270*

La unión europea a raíz de los diferentes objetivos establecidos en las metas para el desarrollo sostenible, ha impulsado estrategias sobre los recursos ambientales, en especial lo que refiere a la

protección de suelo, estableciendo las funciones y amenazas a las que estos se encuentran expuestos, las cuales se pueden ver en la *tabla 2* y *tabla 3* respectivamente; dado esto, la unión europea ha propuesto técnicas de tratamiento que buscan disminuir o eliminar la acumulación de residuos orgánicos, manteniendo a la vez unas condiciones adecuadas en el suelo, las acciones consisten en la modificación de la gestión de residuos sólidos municipales y en la disposición final de estos, pues se busca establecer unas proporciones de mezclas de suelos, desechos y otros agregados como se pueden ver en la *tabla 4* (Macías, 2014).

Macías. (2014). Principales funciones del suelo (Tabla 2). Recuperado de <http://www.ibader.gal/download.php?f=RRM-04-01-11-98.pdf>

Principales funciones del suelo

La producción de alimentos y biomasa
La capacidad de almacenamiento filtración y transformación
El funcionamiento del suelo como medio de vida y como reserva genética
Sustrato básico para la realización de actividades antrópicas a través del tiempo
Archivo de la historia cultural
Suministro de materiales y recursos para la humanidad

Macías. (2014). Principales amenazas del suelo (Tabla 3). Recuperado de <http://www.ibader.gal/download.php?f=RRM-04-01-11-98.pdf>

Principales amenazas del suelo

Erosión
Pérdida de materia orgánica
Contaminación del suelo
Sellado u ocupación destructiva
Compactación
Salinización
Inundación y movimientos de tierra

Macías. (2014). Algunas mezclas de residuos y suelos que presentan buen rendimiento (Tabla 4). Recuperado de <http://www.ibader.gal/download.php?f=RRM-04-01-11-98.pdf>

Residuo	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla
	1	2	3	4	5
% Arena	30	40	25	20	20
% Residuos demolición	20	20	20	25	20
Lodos serrines graníticos	10	10	15	15	10
Lodos EDAR	10	5	5	10	10
Biomasa vegetal	25	20	30	25	25
Cenizas	5	5	5	5	5

Metodología

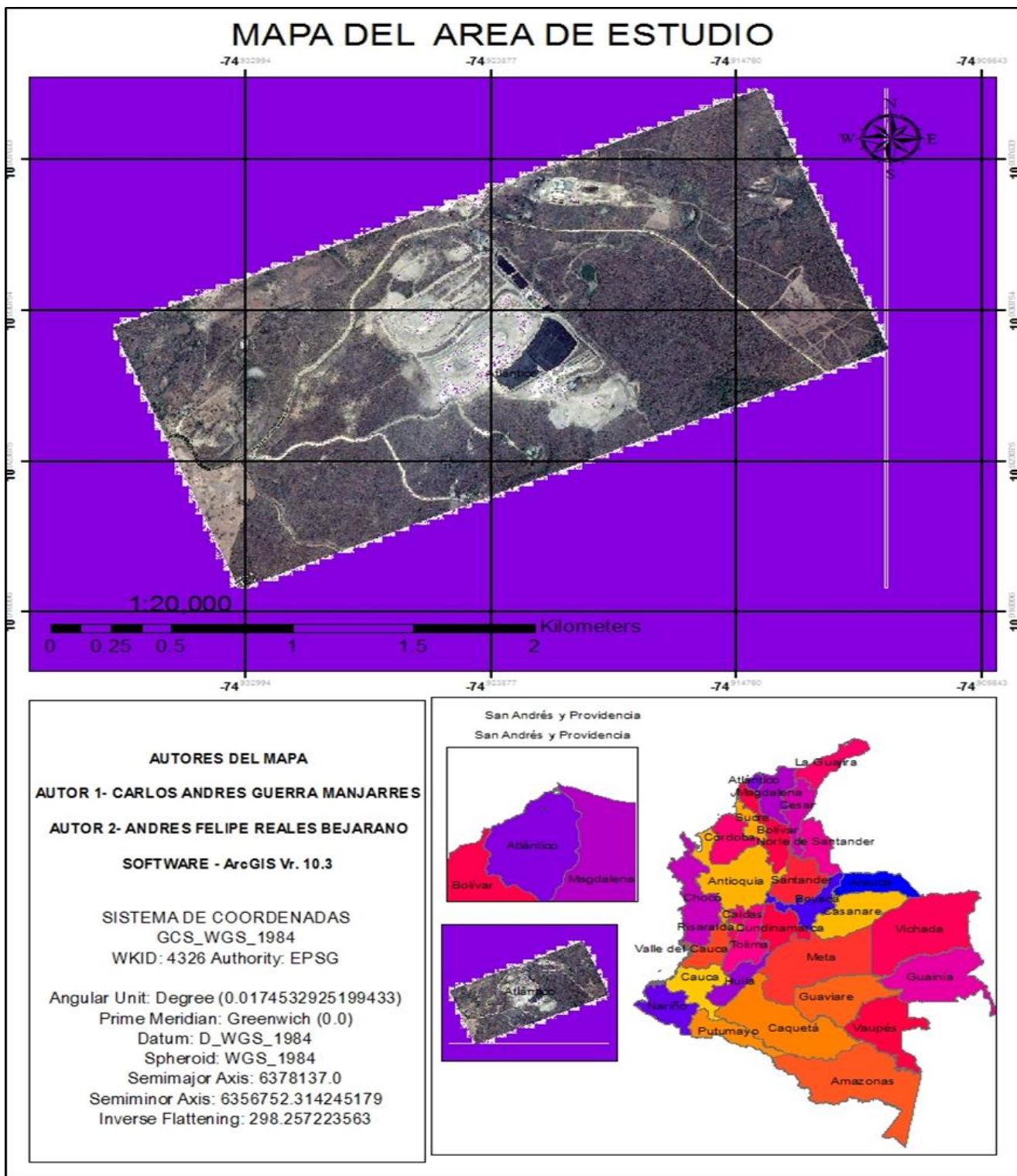
Área de Estudio

El sistema de disposición final objeto de estudio, consiste en un relleno sanitario localizado a 15 kilómetros de Barranquilla, en la vía Juan Mina-Tubará a 5 kilómetros del corregimiento Cuatro Bocas; sobre un área total de 135 hectáreas, donde 75 Ha son destinadas para la disposición de aproximadamente 1300 toneladas diarias de desechos sólidos municipales, teniendo una capacidad de 2000 toneladas diarias. El relleno sanitario cuenta con una zona de descargue de residuos, los cuales son esparcidos y compactados (celda activa), las terrazas de las celdas de disposición generan evacuación de gases producidos por la degradación anaerobia de los residuos orgánicos (celdas pasivas), y un sistema de tratamiento con dos piscinas de lixiviados (Morgado Gamero, 2017).

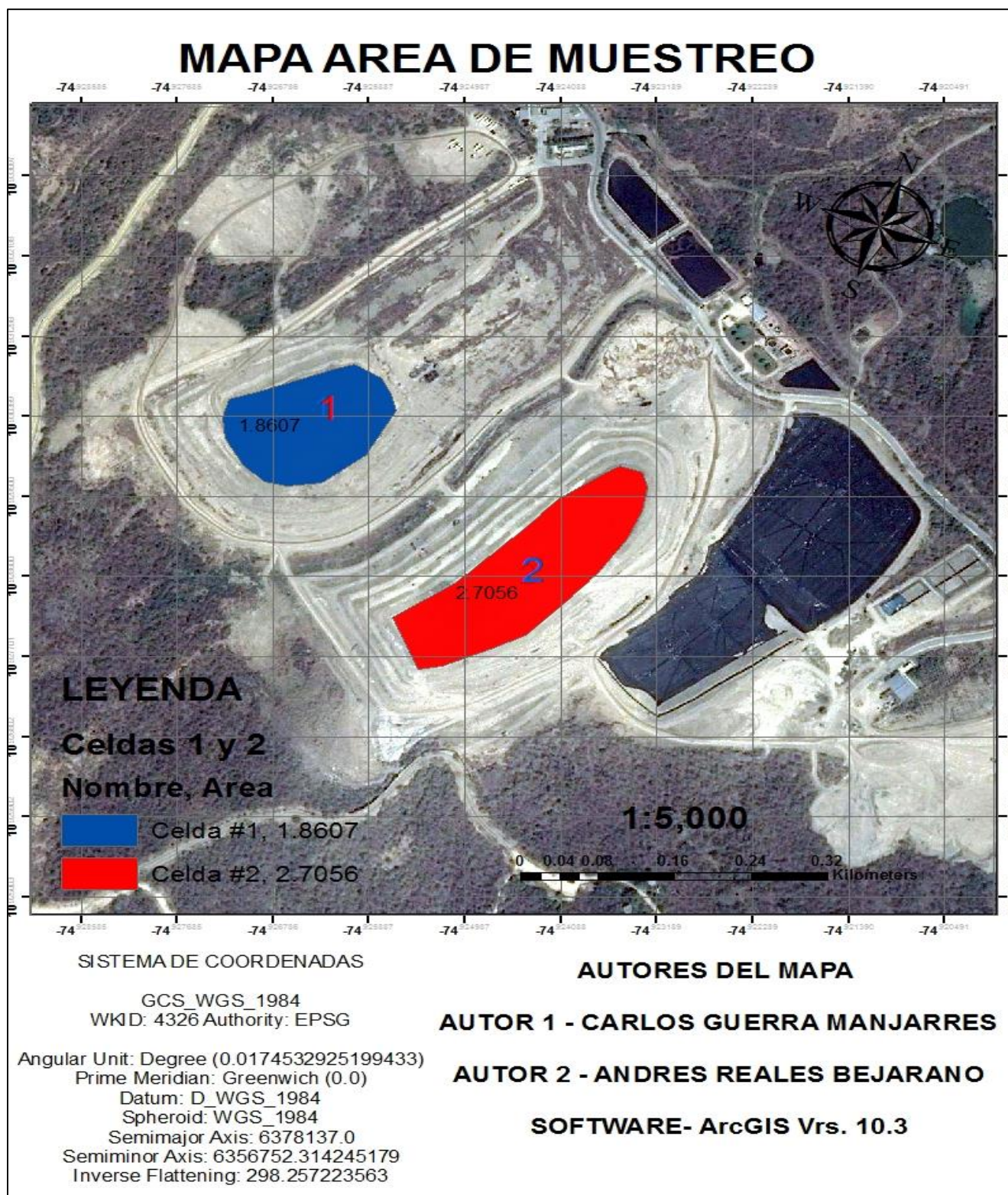
Las áreas de monitoreo fueron referenciadas en las coordenadas geográficas del sitio, que corresponden a: longitud -74.926417° ; latitud 10.930360° para el primer punto de muestreo (celda 1); longitud -74.923377° ; latitud 10.929477° para el segundo punto de muestreo (celda 2).

El sector se caracteriza por tener ecosistemas de tipo bosques naturales del halobioma del caribe, áreas agrícolas heterogéneas del halobioma del caribe, zonas desnudas del halobioma del caribe; Las especies faunísticas son pocas diversas entre ellas aves y reptiles. El paisaje predominante se identifica por ser un bosque donde crecen arbustos espinosos, con presencia de algunas especies de bosque seco, el carácter climatológico está conformado por dos (2) periodos que son lluvioso y seco; este último se registra entre los meses de diciembre a marzo y el lluvioso en los meses de septiembre a noviembre, en la temperatura se tienen registros máximos

de 39.6° C y mínimos de 14.6° C, la humedad relativa presenta registros con promedios de 80%, la dirección predominante del viento corresponde al noreste con un 34% del tiempo anual con velocidades que varían entre 10.8 y 13.8 m/s; las unidades geomorfológicas son lechos de ríos y terrazas bajas, plano denudacional D1 y pendientes denudadas D2 (Corporación autónoma regional del Atlántico, 2011).



Autores. (2017). Mapa del área de estudio (Ilustración 1)



Autores. (2017). Mapa del área de muestreo (Ilustración 2)

Muestreo en la zona de Estudio: Toma de muestras suelo

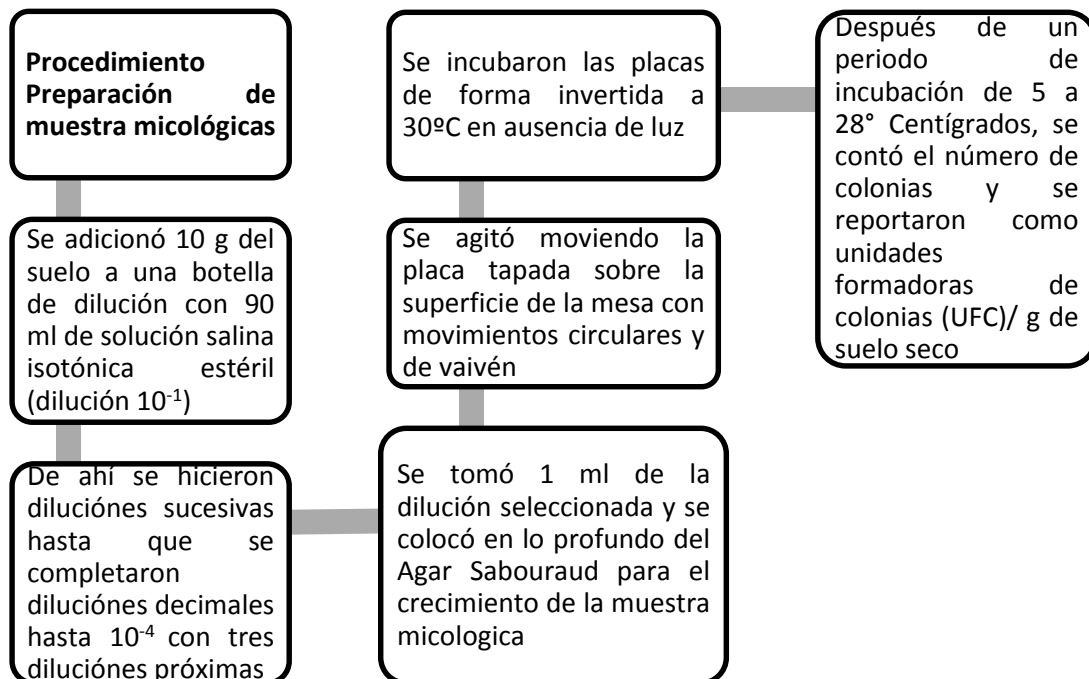
De acuerdo con lo definido por Soto *et. al.* (2016), para la toma de muestras se tuvo en cuenta que las características de las áreas fueran similares con base a los siguientes criterios: Grado de pendiente; grado de erosión; tipo de vegetación; manejo previo; presencia de rocas, y estado del suelo, siendo este último el más determinante debido a que las celdas evaluadas se encuentran en diferentes etapas operacionales, la celda 1 es una celda pasiva debido a que ha llegado a la altura máxima de almacenamiento de residuos, dando lugar al proceso de descomposición y estabilización de los residuos, mientras que la celda 2 es activa, es decir, que se encuentra en operación, recibiendo residuos para su confinamiento.

Determinados los puntos de muestreo e identificados como celda 1 y celda 2 se definió las temporadas a evaluar, siendo la época seca y lluviosa las únicas temporadas reportadas por las autoridades meteorológicas y ambientales; lo propuesto por la guía para toma de muestras analíticas de suelo recomienda la recolección de una muestra compuesta, al tener 2 sitios de evaluación y dos temporadas se obtuvo un total de cuatro muestras compuestas, de conformidad a lo propuesto por (Soto Cañas, Ocampo Castaño, & Bueno Lopez, 2016), para la toma de muestras se realizó una perforación de aproximadamente 25 cm x 25 cm de lado y 20 cm de profundidad, se retiró los primeros 2 cm del suelo y se extrajo la muestra, en general la profundidad de muestreo estuvo entre 2 y 20 cm, el muestreo fue en forma de zigzag, de esta manera se tomaron 20 submuestras a lo largo y ancho del terreno que luego se mezcló en la bolsa ziploc, hasta obtener una muestra compuesta homogénea con una masa de 1 Kg (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2010).

Metodología para determinación de hongos en suelos

Procedimiento Preparación de muestra micológicas

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la toma de muestra de hongos:



(Ruera, 2006).

Preparación del medio

Para la preparación del medio (Sabouraud Dextrose Agar SDA) se realizó conforme a las directrices del fabricante.

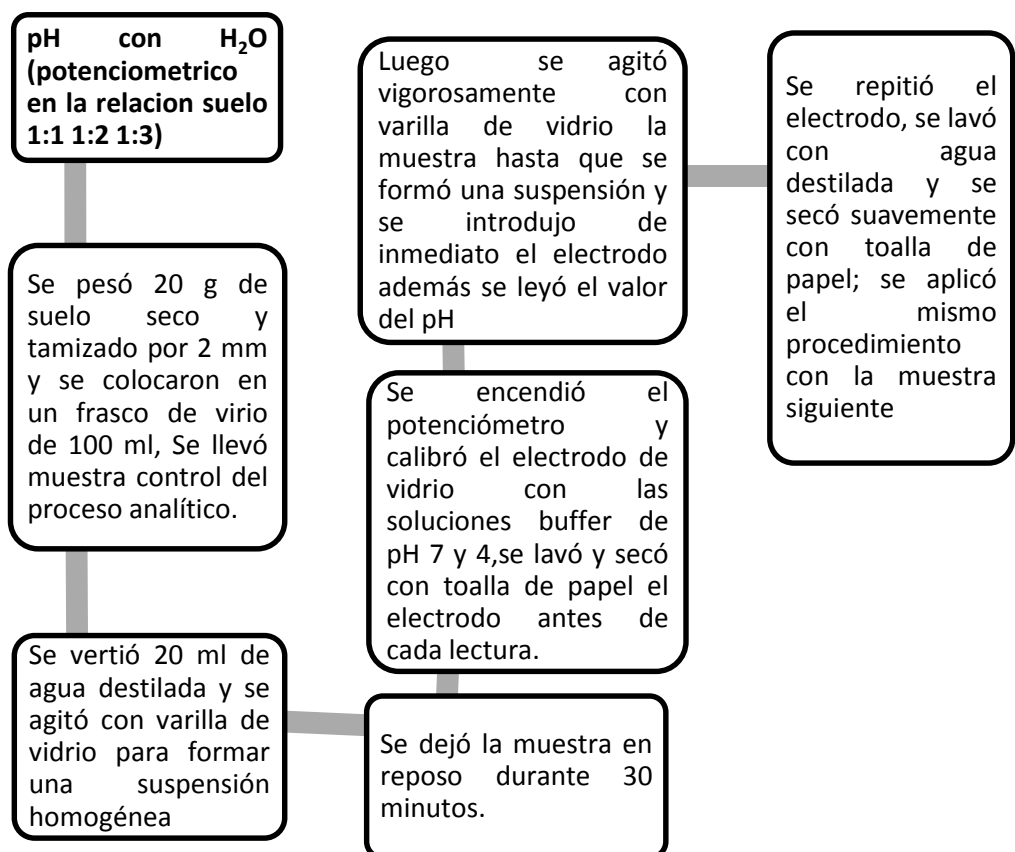
Se disolvieron los componentes del medio en agua destilada; además se añadió la cantidad de agua necesaria para conseguir la concentración deseada el cual fue de 65 g por litro en un beaker. Luego se calentó la preparación para asegurar la disolución completa del agar, para esto paso se

utilizó la plancha con un agitador magnético hasta que la mezcla clarificara. Después se esterilizó la disolución por medio de la autoclave durante 15 minutos aproximadamente, por último, se vertió el contenido estéril dentro de las cajas de Petri (aproximadamente 20 mL para cada una) que se encontraban en la campana de flujo laminar en donde se dejaron enfriar para solidificarse (Santambrosio, Ortega, & Garibaldi, 2009).

Parámetros fisicoquímicos de suelos

pH con H₂O

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de pH

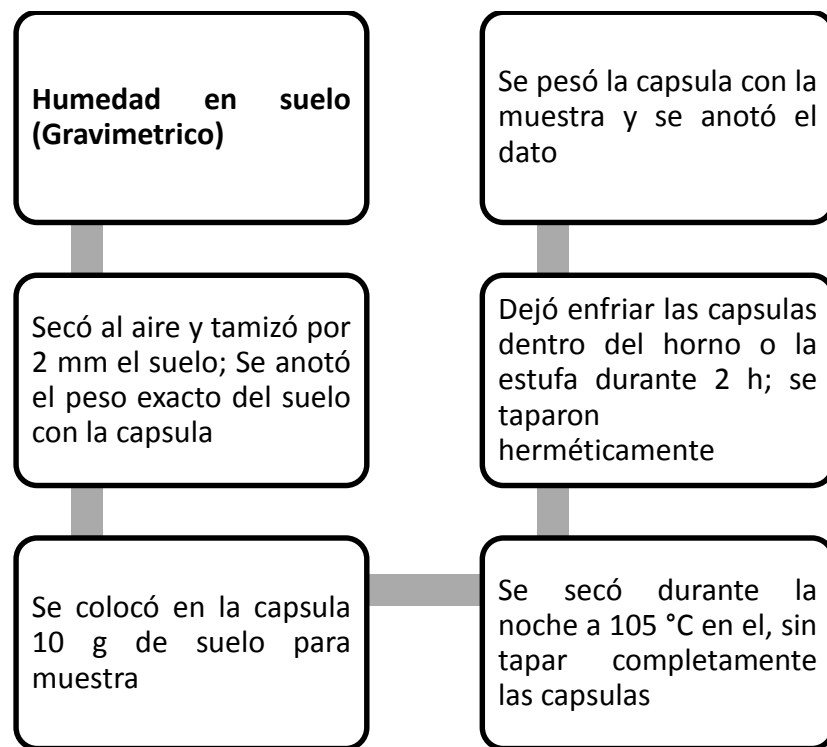


CÁLCULOS

Para este procedimiento no es necesario realizar cálculos por ser medición instrumental directa del valor del pH.

Humedad en suelo

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de humedad en suelo



CÁLCULOS

Para este procedimiento se realizó el siguiente cálculo:

$$Pw(\%) = \frac{(Pmh - Pc) - (Pms - Pc) * 100}{(Pms - Pc)}$$

Pw = porcentaje de humedad en el suelo o en el tejido vegetal seco a 105 °C.

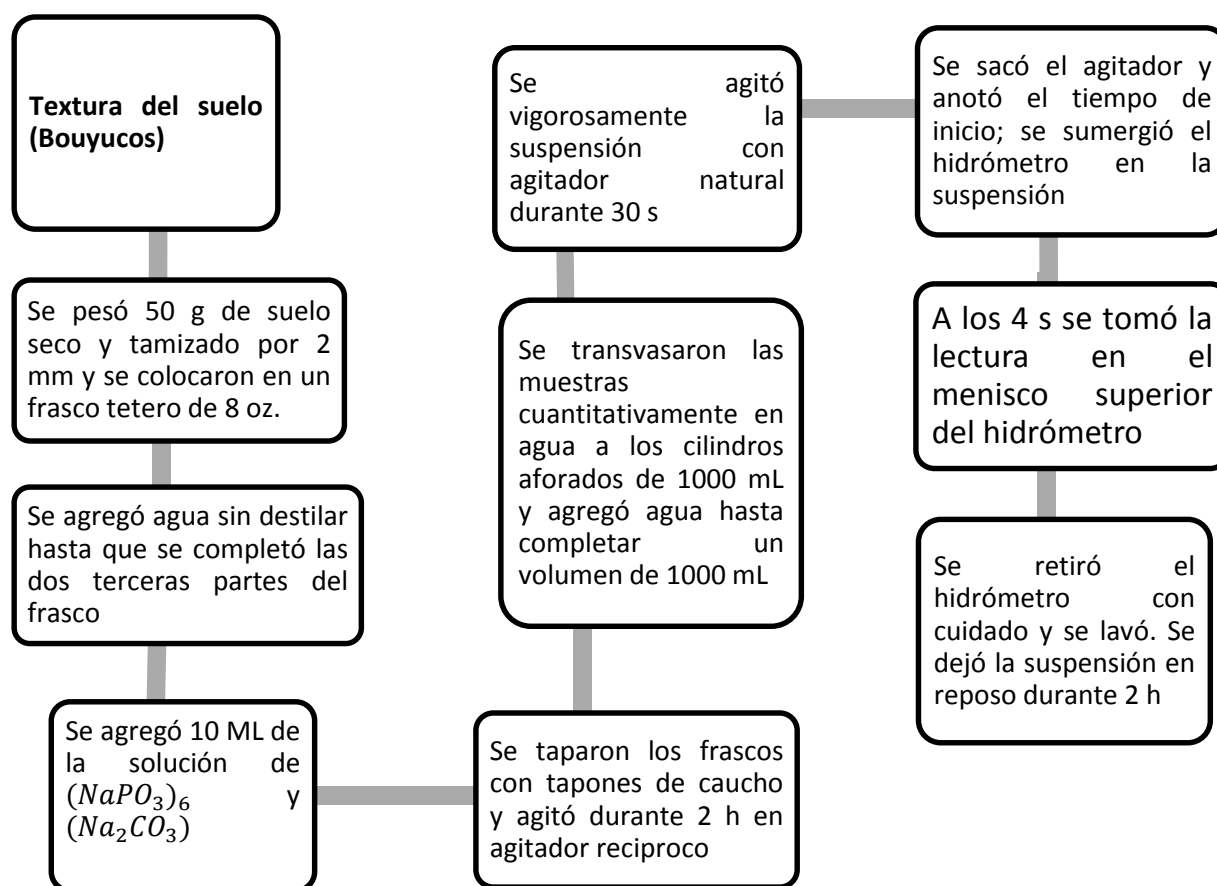
Pmh = peso de la muestra más el peso de la capsula antes del secado a 105 °C.

Pms = peso de la muestra más el peso de la capsula después del secado a 105 °C.

Pc= peso de la capsula.

Textura del suelo

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de textura del suelo



CÁLCULOS

Para este procedimiento se realizaron los siguientes cálculos; se deben tener el pw de la muestra:

$$\% \text{ Arena}(2 \text{ a } 0.05 \text{ mm}) = \frac{100 - \text{lectura a } 40 \text{ s} * (100 + Pw)}{(50g)}$$

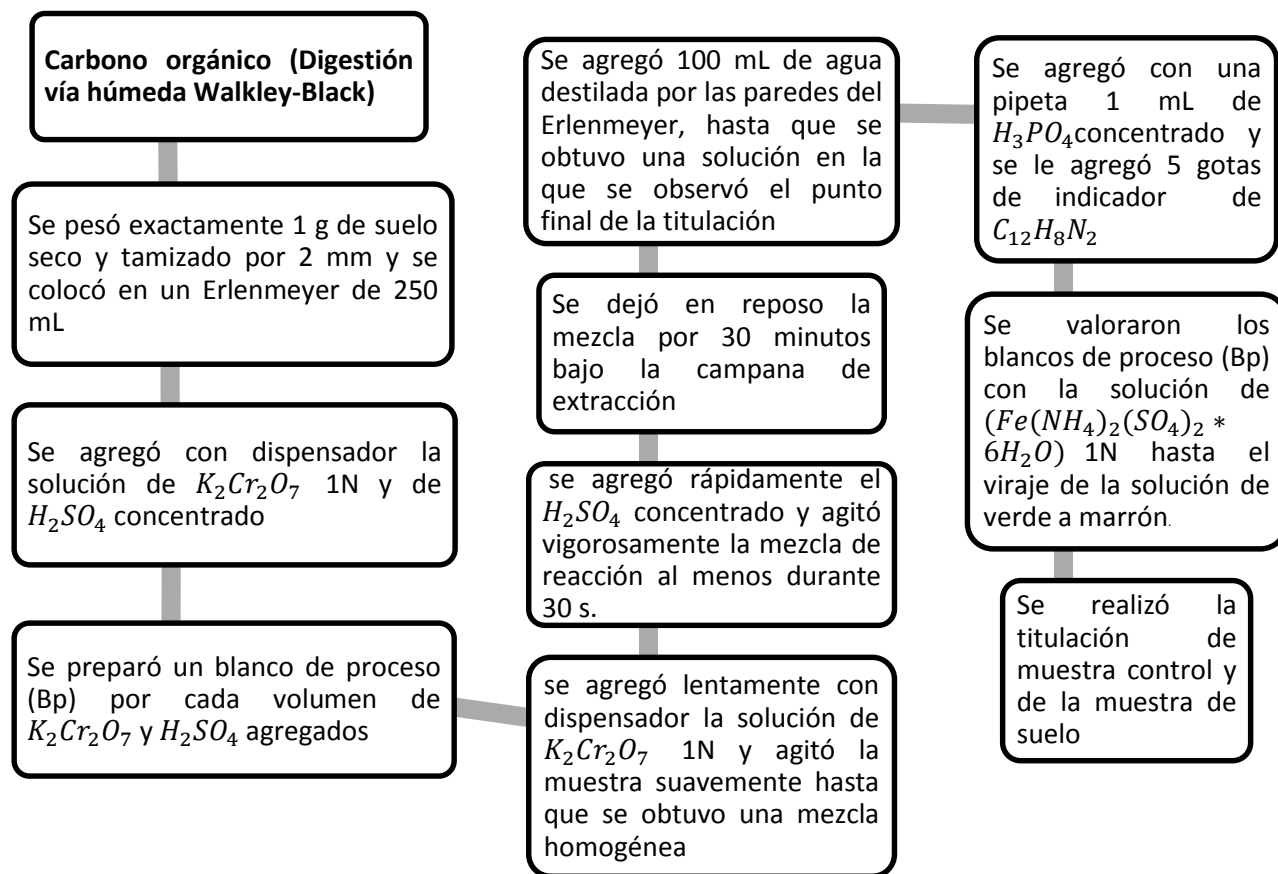
$$\% \text{ Arcilla}(< 0.002 \text{ mm}) = \frac{100 - \text{lectura a } 2 \text{ h} * (100 + Pw)}{(50g)}$$

$$\% \text{ Limo}(0.05 \text{ a } 0.002 \text{ mm}) = 100 - (\% \text{ arena} - \% \text{ arcilla})$$

Pw = porcentaje de humedad en el suelo seco a 105 °C. (Factor de corrección por humedad)

Carbono orgánico

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de carbono orgánico en suelo



CÁLCULOS

Para este procedimiento realizar el siguiente cálculo; se requiere tener el pw de la muestra:

$$\%C.O. = \frac{(Bp - M) * N * 0.003 * (100 + Pw)}{pm}$$

Dónde:

Bp = mL de $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 * 6H_2O)$ gastados en la situación del blanco correspondiente.

M = mL $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 * 6H_2O)$ gastados en la titulación de la muestra correspondiente.

V = mL de $(K_2Cr_2O_7)$ agregados al blanco correspondiente.

N = normalidad del $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 * 6H_2O)$, como resultado de la titulación de los blancos implementados = V/Bp .

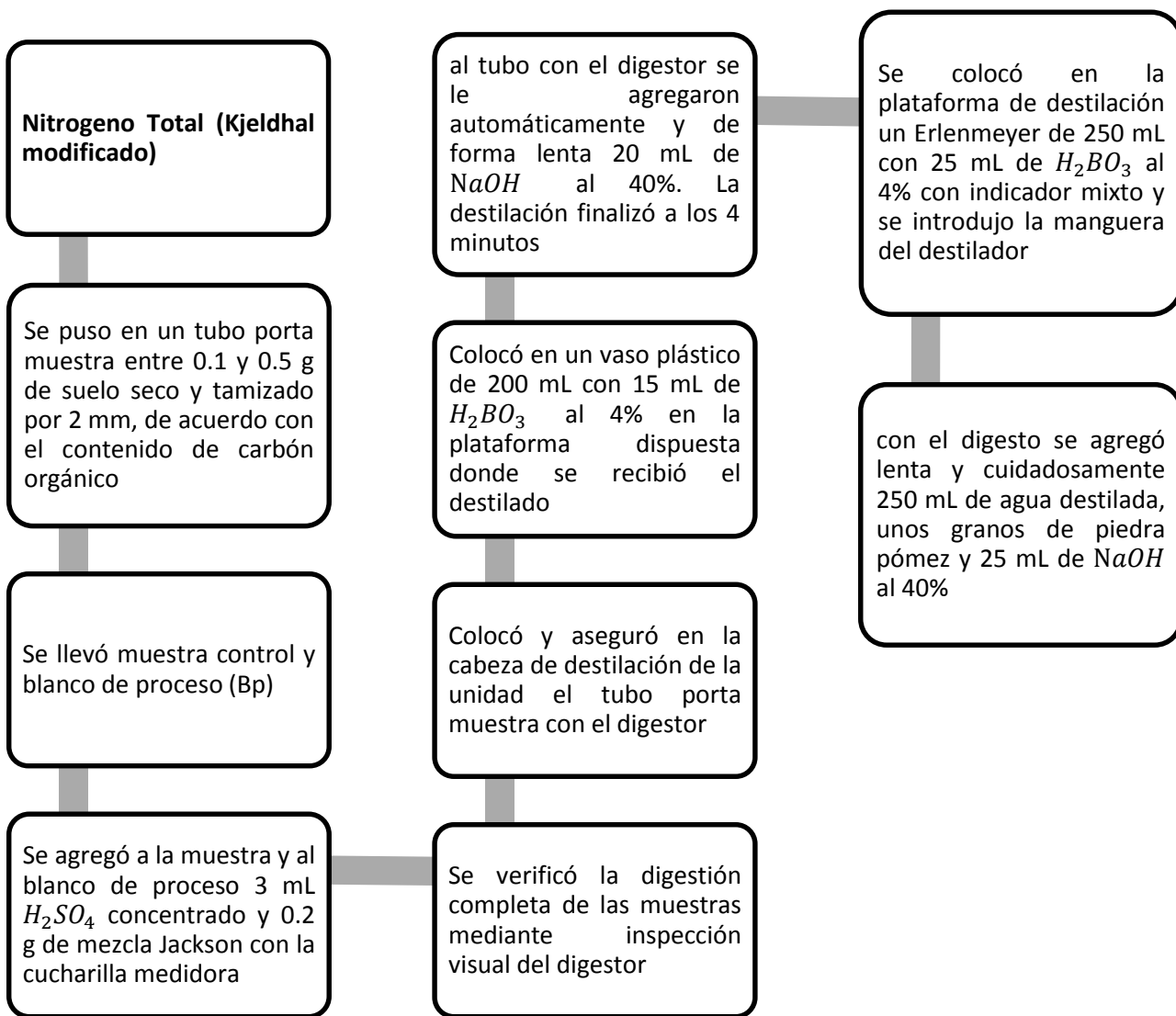
0.003 = peso en g de un meq de carbono.

Pw = porcentaje de humedad en el suelo seco 105 °C (factor de corrección por humedad).

Pm = peso muestra en g.

Nitrógeno total en suelos

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de nitrógeno en el suelo



CÁLCULOS

Para este procedimiento se realizaron los siguientes cálculos, excepción hecha si el equipo los registro e imprime (titulador automático); se requiere el pw de la muestra:

$$\%Nt = \frac{(Vm - VBp) * N * 0.014 * (100 + Pw)}{pm}$$

Dónde:

%Nt = cantidad de N total en el suelo expresado en porcentaje.

Vm = mL de (H_2SO_4) gastado en la titulación de la muestra.

VBp = mL de (H_2SO_4) gastado en la titulación del blanco del proceso.

N = normalidad del ácido sulfúrico utilizado en la titulación.

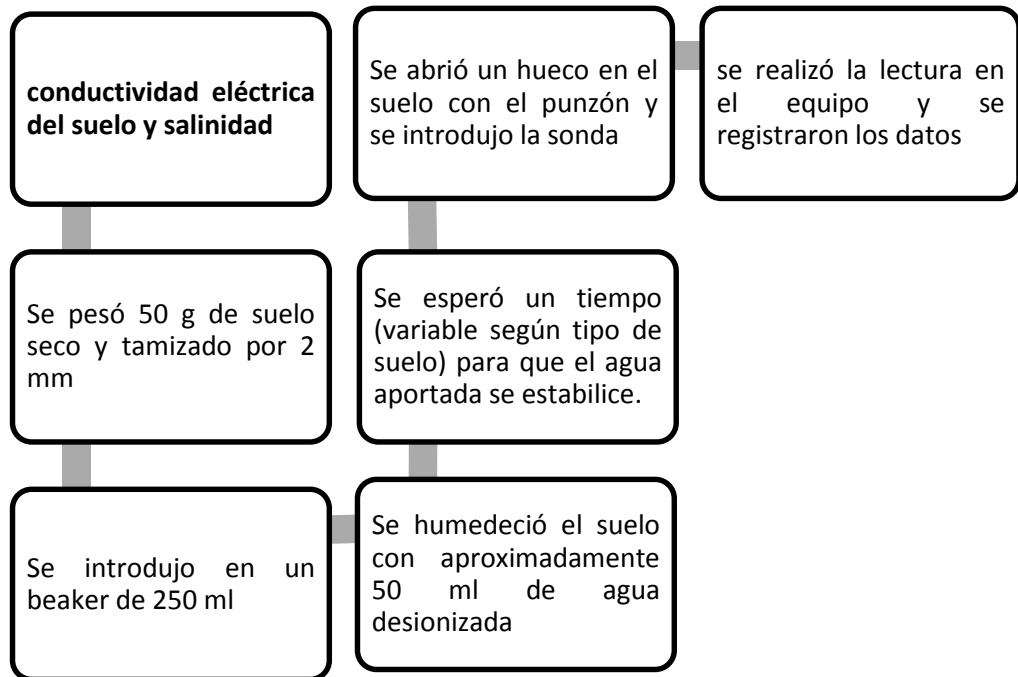
pm = peso muestro en g.

0.014 = factor de conversión del peso equivalente del nitrógeno expresado en meq.

Pw = porcentaje de humedad en el suelo seco a 105 °C (factor de corrección por humedad).

Actividad eléctrica, conductividad eléctrica del suelo y salinidad

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de salinidad en suelo

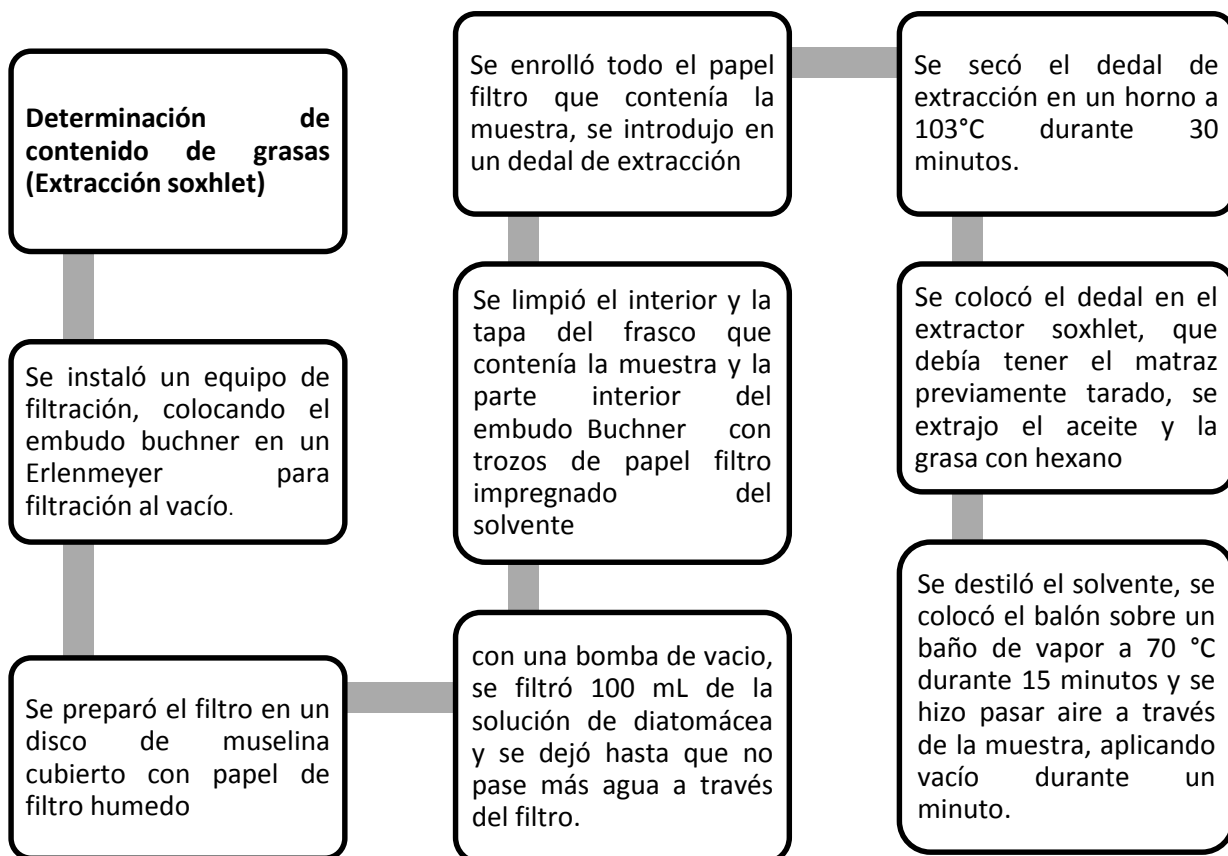


CÁLCULOS

Para este procedimiento no es necesario realizar cálculos por ser medición instrumental directa del valor de conductividad.

Determinación de contenido de grasas y aceites

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para la medición de contenido de grasas y aceites en suelo



CÁLCULOS

$$\%Grasa = \frac{(A - B) * 100}{\text{gramos muestra}}$$

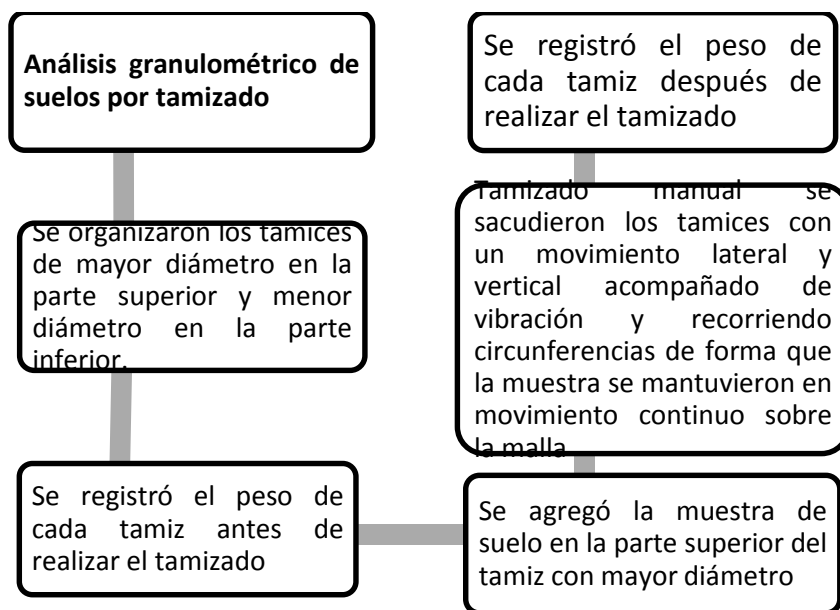
Dónde:

A: masa en g del matraz de fondo redondo vacío (con trozo de porcelana y soporte).

B: masa en g del matraz de fondo redondo con grasa (con trozo de porcelana y soporte) tras el secado (Londoño, Giraldo, & Gutierrez, 2010).

Análisis granulométrico de suelos por tamizado

A continuación, se presenta de forma esquemática la metodología para el análisis granulométrico en suelo



CÁLCULOS

$$\text{Masa retenida tamiz} = \text{gr tamiz despues de tamizado} - \text{g tamiz antes de tamizado}$$

Dónde:

gr: gramos pesados en la balanza

$$\% \text{suelo retenido} = \frac{\text{masa retenida en el tamiz}}{\text{masa total}} * 100$$

$$\% \text{suelo pasa} = 100 - \% \text{suelo retenido}$$

(Instituto nacional de vías, 2009).

Resultados y Discusión

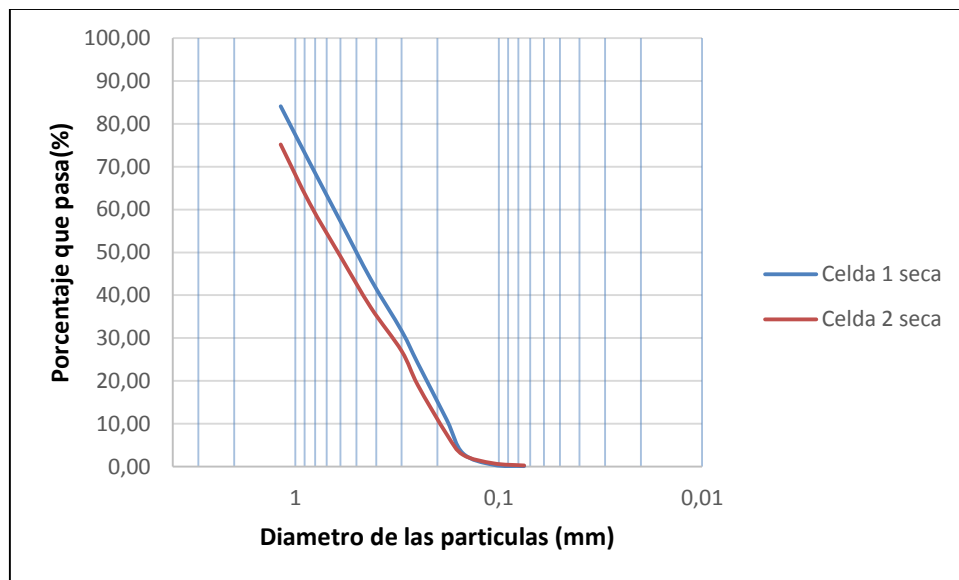
A continuación, se presentan los datos obtenidos de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del suelo

Parámetros Físicos

Entre las características físicas del suelo se presentan los datos obtenidos de granulometría, humedad y textura

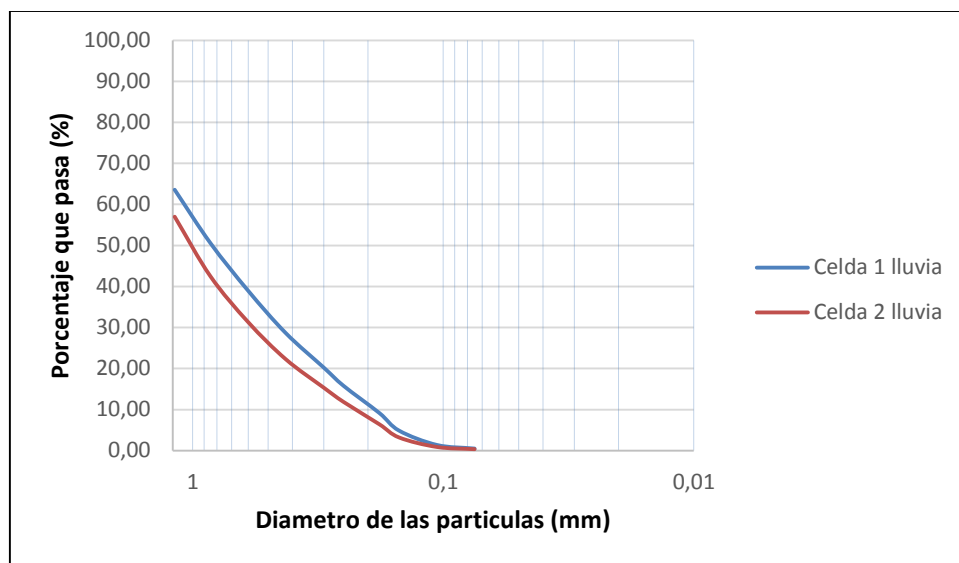
Granulometría

El siguiente grafico representa el diámetro de las partículas para las celdas 1 y 2 con respecto al porcentaje de suelo que pasa en la temporada seca



Autores. (2017). Curva Granulométrica para el suelo de la celda 1 (Gráfica 1)

El siguiente grafico representa el diámetro de las partículas para las celdas 1 y 2 con respecto al porcentaje de suelo que pasa en la temporada de lluvia



Autores. (2017). Curva Granulométrica para el suelo de la celda 2 (Gráfica 2)

En la tabla granulométrica de suelo se encuentran los registros de los coeficientes de uniformidad y coeficientes de curvatura, para las celdas 1 y 2 en las temporadas seca y lluviosa

Autores. (2017). Granulométrica de suelo (Tabla 5)

	Celda 1 lluvia	Celda 2 lluvia	Celda 1 seca	Celda 2 seca
Cu	5,789	5,455	3,611	4,000
Cc	1,149	1,319	0,769	0,766
D10	0,19	0,22	0,18	0,2
D30	0,49	0,59	0,3	0,35
D60	1,1	1,2	0,65	0,8

De acuerdo a los datos interpretados por la *gráfica 1* y *gráfica 2* se puede determinar los coeficientes de curvatura y coeficientes de uniformidad además la forma de la curva da una idea de la distribución de las partículas, los cuales permiten clasificar el suelo por la distribución de las partículas, para algunos autores como (Badillo & Rodríguez , 2005) para un suelo que esté constituido por partículas de un solo tamaño se representa por una línea vertical y si por otro lado representa una línea tendida es que está constituido por una gran variedad de tamaños,

igualmente si el suelo tiene un coeficiente de uniformidad inferior a 3 se considera muy uniforme y para complementar la información si tiene un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 en suelos bien graduados. Igualmente, en el artículo científico *Análisis Comparativo de Métodos para la Medición del Ángulo de Reposo de Suelos Granulares* (Rodas, 2010) comparan 6 tipos de suelos con los coeficientes de curvatura y uniformidad según la clasificación U.S.C.S de los cuales 5 se clasificaron en (SP) y 1 en (SW) este último debido a las diferencias del valor del coeficiente de uniformidad si es mayor a 6 y el de curvatura esta entre 1 y 3, en cambio los de otros 5 cumplían no cumplen con estos requisitos.

Con respecto a las líneas de la *gráfica 1* y *gráfica 2* se puede observar que ambas tienen formas muy parecidas; debido a que están tendidas; es decir que tienen variedad de tamaños de las partículas, pero en la *gráfica 1* esta levemente menos inclinada que la *gráfica 2* de esta manera se puede interpretar, que existe mayor variedad de tamaño de las partículas en temporada lluviosa con respecto a la temporada seca, además se evidenció en ambas graficas mejores condiciones en la celda 2. Los coeficientes de uniformidad en ninguno de los casos son inferiores a 3 considerando así que estos suelos no presentan gran uniformidad, así mismo en los coeficientes de curvatura solo cumplen entre los rangos 1 y 3 los suelos de las celdas 1 y 2 en temporada lluviosa a razón de que se presentan suelos más graduados, con más margen de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio. Según la clasificación U.S.C.S en todas las muestras son de categorías (SP) arenas mal graduadas, arenas con gravas, con pocos finos o sin ellos, debido a que no satisfacen todos los requisitos granulométricos del suelo (SW) arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos; que son el coeficiente de uniformidad superior a 6 y coeficiente de curvatura entre 1 y 3.

Humedad y Textura

En la tabla de propiedades físicas del suelo se registran datos de humedad y textura, para las celdas 1 y 2 en las temporadas seca y lluviosa

Autores. (2017). Propiedades físicas del suelo (Tabla 6)

Parámetro	Unidad	Celda 1 Seca	Celda 2 Seca	Celda 1 Lluvia	Celda 2 Lluvia
Humedad	% de humedad	4.598	6.356	7.140	8.735
Textura	% de arena	95.16	95.92	95.039	94.97
Textura	% de limo	3.37	3.43	2.809	3.503
Textura	% de arcilla	1.47	0.65	2.151	1.527

Para los valores obtenidos de la humedad se puede determinar que los mayores porcentajes se dieron en la temporada lluviosa; igualmente entre celdas el mayor porcentaje se dio en las celdas 2; existen valores promedios de porcentajes de agua disponible en el suelo con respecto a su textura según (Garcia Petillo, Puppo, Morales, & Hayashi, 2013) de Uruguay para un suelo arenoso el porcentaje entre 4% y 6% los cuales correspondieron para la celda 1 y 2 en temporada seca y para un suelo franco-arenoso entre 6%-10% para la temporada de lluvia; es decir que se trata de un suelo con alto contenido de arena aunque esta información se debe analizar mejor con los datos de textura, también en el artículo (Montaner Salas & Sánchez-Almohalla Serrano, 1988) arroja datos analíticos de los tipos de suelos de la cuenca del Segura en España para suelos arenosos porcentajes de 6,45%; con un valor muy cercano a la celda 2 en temporada seca de 6,35% aunque en los demás valores varían desde 4% a 8% se puede decir que también tienen estas características debido a que en los tipos de suelos analizados los porcentajes de humedad fueron superiores al 20%, además en el artículo (Osorio, Rodriguez, & Alfaro, 1998) registran un porcentaje de humedad aprovechable de 5,04% a una profundidad de 0 a 30 cm y se registra

el aumento de la humedad del suelo a causa de las precipitaciones; este efecto del aumento de humedad también se ve reflejado ya que en ambas celdas se registraron; para la celda 1 temporada seca 4.59% en temporada de lluvia 7.14%; para la celda 2 temporada seca 6.35%; en temporada de lluvia 8.73% , entre los intervalos de humedad utilizados se tomaron 5%; 10%; 15%; 18%; en base a estos registros las celdas en temporadas lluviosas son las que más favorecen la actividad de los microorganismos en el suelo y esta puede ser relacionada con el conteo de colonias; aunque los valores más altos no superaron un 10% de humedad; existe una leve diferencia entre las celdas en temporada seca y temporada de lluvia.

Para la determinación de la textura del suelo (Ibáñez Asensio & Moreno Ramón., 2010) se validó por el diagrama textural de la USDA para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla. Al aplicar este método claramente se determina una textura arenosa en todas las muestras, debido a que el porcentaje de arena es superior al 85% en todas las celdas; de igual forma el porcentaje de arcilla es inferior al 10% en todas las celdas; la característica que posee la textura también se conoce como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire, únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado, esta información se puede contrastar con el análisis de materia orgánica, igualmente se contrastó con la humedad registrada y arrojó una textura arenosa para las celdas 1 y 2 en temporada seca y textura franco-arenosa para las celdas 1 y 2 en temporada de lluvia; aunque sigue siendo en ambos casos suelos arenosos, además Según la clasificación U.S.C.S en

la granulometría en todas las muestras son de categorías (SP) arenas mal graduadas, arenas con gravas, con pocos finos o sin ellos.

Parámetros Químicos

Entre las características químicas del suelo se presentan los datos obtenidos de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno, conductividad, salinidad, grasa, pH, para las celdas 1 y 2 en las temporadas seca y lluviosa

Autores. (2017). Parámetros Químicas del suelo (Tabla 7)

Parámetro	Unidad	Celda 1 Seca	Celda 2 Seca	Celda 1 Lluvia	Celda 2 Lluvia
Carbono orgánico	% carbono orgánico	0.157	0.160	0.193	0.196
Materia orgánica	% materia orgánica	0.273	0.278	0.336	0.341
Nitrógeno	% nitrógeno total	0.041	0.042	0.051	0.052
Conductividad	ds.m-1	0.891	1	1.266	1.391
Salinidad	g·L-1	1.311	1.472	1.863	2.047
Grasa	% grasa	0.05	0.05	1.4	1.4
pH	Adimensional	6.04	6.09	6.84	6.89

Carbono orgánico y Materia orgánica

En el artículo de (Martínez H., Fuentes E., & Acevedo H., 2008) el carbono orgánico del suelo es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica del suelo, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan el carbono orgánico del suelo, y que la

materia orgánica del suelo se estima a partir del carbono orgánico del suelo multiplicado por factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1,7 (Jackson, 1964) de igual forma se realizó para determinar el porcentaje de materia orgánica en todas las celdas, además (Carrasco, 1992) señala que en suelos cercanos a la neutralidad o que tienen cantidades altas de carbonatos y bicarbonatos, el pH disminuye por aumento en la presión parcial de CO_2 en la atmósfera del suelo. El CO_2 de la atmósfera se combina con agua y forma ácido carbónico, que al disociarse genera H^+ que acidifica el suelo según (Carrasco, 1992) la materia orgánica del suelo tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y tiende a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino, para el caso del suelo en el relleno sanitario, se evidenció que en la temporada seca el pH fue moderadamente ácido en cambio para la temporada de lluvia fue de neutralidad, por otro lado, el artículo de (Hontoria, Rodríguez Murillo, & Saa, 2004) registra valores de contenido de carbono orgánico del primer horizonte del suelo por tipo de uso en los suelos no cultivados, el contenido de carbono fue de 4,4 %, siendo el matorral el uso con un contenido mayor; en los suelos cultivados, este valor descendió a 1,1%, con una alta variabilidad en todos los casos; al estudiar la relación del carbono orgánico (%) con un conjunto de variables climáticas, del lugar y del suelo, encontraron que las variables mejor relacionadas con el contenido de carbono fueron la precipitación media anual, que mostró una correlación positiva ($r=0.55$), y el número consecutivo de días que la sección de control del suelo está completamente seca durante el verano, que presentó una correlación negativa ($r=-0.53$); al compararse estos resultados concuerdan con los registrados en las celdas 1 y 2 en temporada seca y lluvia siendo los de valores más altos en la temporada lluvia y más bajos en la temporada seca, en el artículo de (Soto Cañas, Ocampo Castaño, & Bueno Lopez, 2016) registrando valores de porcentaje de materia orgánica superiores al 5% en ninguna de las celdas alcanza al 1% relacionándolo con la

disponibilidad de nitrógeno en el suelo; estos proporcionan una fuente importante de compuestos necesarios para el desarrollo microbiano presente en el suelo; en las celdas se registran datos muy inferiores es decir que tiene carencias en el desarrollo de los microorganismos pero los datos más inferiores son los la celda 1 en ambas temporadas .asimismo para (Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, 2002) los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en suelos minerales los clasifica como muy bajos para valores inferiores a 0,5% y estos resultados se dan en ambas celdas y en las dos temporadas.

Nitrógeno

Según (Soto Cañas, Ocampo Castaño, & Bueno Lopez, 2016) la mayoría de las celdas ya no se encuentran activas pero se pueden observar zonas verdes con gran variedad de especies florales con una tasa alta de crecimiento de las plantas que generalmente es proporcional a la tasa a la cual se provee el nitrógeno; se tienen 3 registros de cantidad de nitrógeno con valores de 0,24%; 0,37%; 0,28% al compararse con los datos analizados en las celdas 1 y 2 hay una gran diferencia dando valores menores del 0,1% en todas las celdas teniendo un déficit en este parámetro además se logró evidenciar ausencia de especies florales posiblemente por la carencia de nitrógeno en el suelo, además según (Steverson, 1982) sobre la distribución del nitrógeno en suelos de una amplia variación de zonas climáticas en el cual se encuentran las celdas 1 y 2 como subtropical cabe resaltar que se espera un aumento del nitrógeno en el suelo debido a que el tiempo que lleva la celda 1 de cerrada es muy reciente y la celda 2 se encuentra activa para encontrar un equilibrio de este nutriente, igualmente en el artículo (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacker, & Sereno, Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba, 2010) el estudio

se realizó sobre un Haplustol típico. Se evaluaron seis tratamientos en los que se determinó contenido nitrógeno total arrojando valores entre 1% y 2% siendo el menor de 1,17% en un suelo donde se realizó monocultivo de soja, como también en el artículo de (J. Matus & Maire G., 2000) el estudio se realizó sobre un Vertisol con un valor de 0,05% en un suelo donde se habían realizado cultivos de Arroz-trigo y otros autores como (Campos Medina, García Rojas, Velásquez Rodríguez, & García Fabila, 2009) analizó la fertilidad edáfica de suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca que han sufrido cambio de uso de suelo, de ser forestales pasaron a ser de cultivo y por último pradera tomando 3 localidades de las cuales 2 arrojaron 0,05% de nitrógeno generando el mismo valor obtenidos en las celdas 1 y 2 en temporada de lluvia; aunque también son muy cercanos en ambas celdas pero en temporada seca que fueron de 0,04%.

Conductividad Eléctrica y Salinidad

Según (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2002) de México en la interpretación de la conductividad eléctrica para la celda 1 y 2 en temporada seca con un valor del 0,89 ds.m^{-1} y 1 ds.m^{-1} tienen efectos despreciables de la salinidad; en cambio para la temporada lluviosa los valores que se registraron se encuentran en efectos muy ligeramente salinos de 1,2 ds.m^{-1} y 1,3 ds.m^{-1} para el artículo de (Arrieche & Pacheco, 2011) donde se determinaron las propiedades físico- químicas de los suelos Libertad, Carache y Andrés Eloy Blanco de Venezuela entre los cuales la conductividad eléctrica con valores de 0,09;0,08;0,14 ds.m^{-1} respectivamente dando resultados muy inferiores a los reportados tanto en la celda 1 como la celda 2, por ende estos suelos tienen un nivel de salinidad que es perjudicial para el desarrollo de plantas, cabe resaltar que por medio de la conductividad es posible determinar la

salinidad con un factor de conversión relacionando ambos parámetros, en otros artículos como el de (Navarrete Segueda, Vela Correa, López Blanco, & Rodríguez Gamiño, 2011) relacionan la conductividad con diversas funciones y condiciones de suelo como limitante en el crecimiento de plantas y la actividad microbiológica dando así soporte al análisis reportado, autores como (Puerta Echeverri S. , 2004) consideran que la salinidad elevada se puede presentar principalmente en los residuos orgánicos domésticos con alto porcentaje de cloruro de sodio, aumenta el daño de la estructura del suelo como también que produce estrés hídrico y fitotoxicidad, baja germinación de las semillas, poco crecimiento de las plantas; información que ya ha sido documentada por anteriores autores apoyando este análisis.

Grasas

En los resultados de porcentaje de grasa sucede algo muy particular y es que los valores son idénticos entre las celdas 1 y 2 en temporada seca ambas de 0,05% ; así como los valores entre las celdas 1 y 2 en temporada de lluvia ambas de 1,4%, hay reportes del nivel permisible de grasa y aceites en el suelo (Infante, y otros, 2010) el cual el valor debe ser igual o menor al 1% por consiguiente los que cumplían con estos requisitos fueron las celdas 1 y 2 en temporada seca aunque no existe un reporte concreto sobre el agente y el método a emplear, como también en el artículo de (Fernández, y otros, 2006) donde registran datos de Parámetros físico – químicos entre ellos el de grasa y aceites de un suelo virgen menor de 0,05% y de un suelo biotratado 15,14% con un rango permisible menor de 1% del cual tiene más relación con respecto a los resultado un suelo virgen para las celdas 1 y 2 solo en temporada seca, no obstante en para las celdas 1 y 2 en temporada lluviosa sobrepasan el nivel permitido pero se encuentra muy distante

el dato del suelo biotratado cabe resaltar que de acuerdo al estudio del suelo virgen tiene naturaleza franco-arenoso es una característica similar a los de las celdas 1 y 2.

pH

Para parámetros como pH en el suelo (Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, 2002) realizaron una clasificación del suelo en torno al valor medido para las celdas 1 y 2 en temporada seca fueron entre el rango de 5,1-6,5 el cual corresponde a suelo moderadamente ácido y las celdas 1 y 2 en temporada lluviosa entre el rango de 6,6-7,3 que concierne a un suelo neutro, (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacker, & Sereno, Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba, 2010) pueden observarse los valores medios obtenidos para pH de suelo medida en los seis tratamientos que realizaron entre ellos 4 correspondieron a suelos moderadamente ácidos y los restantes a suelos neutros, En el artículo de (J. Matus & Maire G., 2000) existe una relación entre sus datos reportados de pH y % de nitrógeno total y los registrados en la celda 1 y 2 en temporada seca ya que registran pH de suelos moderadamente ácidos y se asemejan en el porcentaje de nitrógeno total 0,03%, aunque en esos suelos hubo una relación para un valor de pH igual a 6,8 pero no se acercaba al mismo de nitrógeno, por otro lado (Soto Cañas, Ocampo Castaño, & Bueno Lopez, 2016) en todos los casos fueron suelos moderadamente ácidos; sin embargo el valor que más se asemeja a los registrados en las celdas 1 y 2 en temporada seca son de 5,9 para autores como (Navarrete Segueda, Vela Correa, López Blanco, & Rodríguez Gamiño, 2011) el pH tiene relación con la actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana.

Determinación de la microbiota fúngica

En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos de la concentración de las especies identificadas, para las celdas 1 y 2 en temporadas seca

Autores. (2017). Concentración (UFC/g) de hongos identificados en Temporada Seca (Tabla 8)

Celda 1 – temporada Seca								
	<i>Penici- llium sp</i>	<i>Penici- llium sp1</i>	<i>Aspergi- llus sp</i>	<i>Aspergi- llus sp1</i>	<i>Aspergi- llus sp2</i>	<i>Cán- dida</i>	<i>Penici- llium sp2</i>	<i>Paeci- lomyces sp</i>
Gramos de suelo	10	10	10	10	10	10	10	10
Volumen pep- tona	90	90	90	90	90	90	90	90
Dilución inicial	10	10	10	10	10	10	10	10
Dilución suce- siva	0.000 1	0.000 1	0.00 01	0.000 1	0.000 1	0.00 01	0.000 1	0.000 1
Factor decimal	1000 0	10000	1000 0	1000 0	1000 0	100 00	10000	10000
Volumen siem- bra muestra	1	1	1	1	1	1	1	1
Número colo- nias placa	3	1	1	2	12	1	1	2
Resultado	3.00 E+04	1.00E +04	1.00 E+04	2.00E +04	1.20E +05	1.00 E+04	1.00E +04	2.00E +04
UFC/g	4.5	4.0	4.0	4.3	5.1	4.0	4.0	4.3
Celda 2 – Temporada Seca								
	<i>Penici- llium sp</i>	<i>Penici- llium sp1</i>	<i>Aspergi- llus sp</i>	<i>Aspergi- llus sp1</i>	<i>Aspergi- llus sp2</i>	<i>Cán- dida</i>	<i>Penici- llium sp2</i>	<i>Paeci- lomyces sp</i>
Gramos de suelo	10	10	10	10	10	10	10	10
Volumen pep- tona	90	90	90	90	90	90	90	90
Dilución inicial	10	10	10	10	10	10	10	10

Dilución sucesiva	0.000 1	0.000 1	0.00 01	0.000 1	0.000 1	0.00 01	0.000 1	0.000 1
Factor decimal	1000 0	10000	1000 0	1000 0	1000 0	100 00	10000	10000
Volumen siembra muestra	1	1	1	1	1	1	1	1
Número colonias placa	1	1	1	2	14	4	16	12
Resultado	1.00 E+04	1.00E +04	1.00 E+04	2.00E +04	1.40E +05	4.00 E+04	1.60E +05	1.20E +05
UFC/g	4.0	4.0	4.0	4.3	5.1	4.6	5.2	5.1

Para los datos registrados en el cuadro de Concentración (UFC/g) de hongos identificados en temporada seca se resaltan para la celda 1 *Aspergillus sp2* con un valor de 5.1 siendo el más alto, y con valores similares *Penicillium sp1*, *Aspergillus sp*, *Cándida*, *Penicillium sp2* con un valor de 4.0; igualmente para la celda 2 se destaca *Penicillium sp2* con un valor de 5.2 asimismo *Penicillium sp*, *Penicillium sp1*, *Aspergillus sp* registraron un valor de 4.0

En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos de la concentración de las especies identificadas, para las celdas 1 y 2 en temporadas de lluvia.

Autores. (2017). Concentración (UFC/g) de hongos identificados en Temporada Lluvia (Tabla 9)

Celda 1 – temperatura Lluvia								
	<i>Penicillium sp</i>	<i>Penicillium sp1</i>	<i>Aspergillus sp</i>	<i>Aspergillus sp1</i>	<i>Aspergillus sp2</i>	<i>Cándida</i>	<i>Penicillium sp2</i>	<i>Paecilomyces sp</i>
Gramos de suelo	10	10	10	10	10	10	10	10
Volumen peptona	90	90	90	90	90	90	90	90
Dilución inicial	10	10	10	10	10	10	10	10
Dilución sucesiva	0.000 1	0.0001	0.000 1	0.0001	0.0001	0.00 01	0.0001	0.0001
Factor decimal	1000 0	10000	1000 0	10000	10000	1000 0	10000	10000
Volumen siembra muestra	1	1	1	1	1	1	1	1

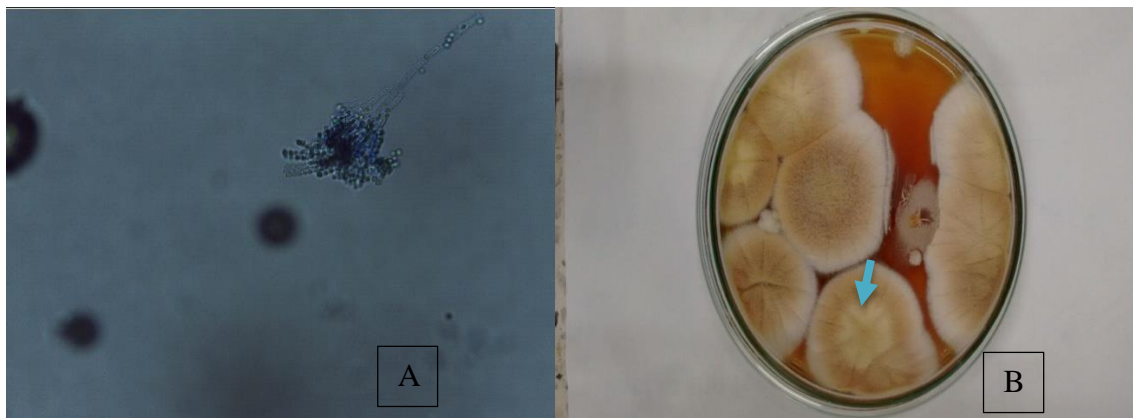
Número colonias placa	7	3	2	3	42	2	2	2
Resultado	7.00E +04	3.00E +04	2.00E +04	3.00E +04	4.20E +05	2.00 E+04	2.00E +04	2.00E+ 04
UFC/g	4.8	4.5	4.3	4.5	5.6	4.3	4.3	4.3
Celda 2 Lluvia								
	<i>Penici- llium sp</i>	<i>Penici- llium sp1</i>	<i>Aspergi- llus sp</i>	<i>Aspergi- llus sp1</i>	<i>Aspergi- llus sp2</i>	<i>Cándida</i>	<i>Penici- llium sp2</i>	<i>Paeci- lomyces sp</i>
Gramos de suelo	10	10	10	10	10	10	10	10
Volumen peptona	90	90	90	90	90	90	90	90
Dilución inicial	10	10	10	10	10	10	10	10
Dilución sucesiva	0.000 1	0.0001	0.000 1	0.0001	0.0001	0.00 01	0.0001	0.0001
Factor decimal	1000 0	10000	1000 0	10000	10000	1000 0	10000	10000
Volumen siembra muestra	1	1	1	1	1	1	1	1
Número colonias placa	2	2	1	4	19	6	16	20
Resultado	2.00E +04	2.00E +04	1.00E +04	4.00E +04	1.90E +05	6.00 E+04	1.60E +05	2.00E+ 05
UFC/g	4.3	4.3	4.0	4.6	5.3	4.8	5.2	5.3

Para los datos registrados en el cuadro de Concentración (UFC/g) de hongos identificados en temporada de lluvia predomina para la celda 1 *Aspergillus sp2* con un valor de 5.6 siendo el más alto, y con valores semejantes *Penicillium sp2*, *Aspergillus sp*, *Cándida*, *Paecilomyces sp* con un valor de 4.3; lo mismo para la celda 2 se destaca *Aspergillus sp2* y *Paecilomyces sp* con un valor de 5.2 además *Penicillium sp*, *Penicillium sp1* registro un valor de 4.3, con respecto a la identificación de hongos se logró determinar 4 géneros entre los cuales *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cándida*, *Paecilomyces*. En todas las celdas y temporadas, aunque cabe destacar que existe mayor concentración en la temporada de lluvia con respecto a la temporada seca en todos los hongos, por otro lado existe gran variación entre las celdas 1 y 2; como en los *Penicillium* en la especies *sp1* y *sp2* existe mayor concentración en la celda 1 caso contrario en *Penicillium sp2*,

con el género *aspergillus* para las especies *sp* y *sp2* son de mayor concentración en la celda 1 diferente en la especie *sp1* donde sucede el caso contrario, con respecto al género *Cándida* se registró mayor concentración en la celda 2, por último el género de *Paecilomyces* se evidenció mayor concentración en la celda 2.

En base a los registros de las celdas en ambas temporadas, las lluviosas son las que más favorecen la actividad de los microorganismos en el suelo y esta se evidencia con el conteo de colonias ya que en todos los casos se obtuvo mayor en la temporada de lluvia que registró mayor porcentaje de humedad. (Soto Cañas, Ocampo Castaño, & Bueno Lopez, 2016) Registrando valores de porcentaje de materia orgánica lo relacionó con la disponibilidad de nitrógeno en el suelo; estos proporcionan una fuente importante de compuestos necesarios para el desarrollo microbiano presente en el suelo; aunque para las celdas 1 y 2 fueron valores muy bajos; los mejores valores se dieron en las celdas en temporada lluviosa donde se evidenció mayor concentración de hongos. Igualmente, en el artículo de (Navarrete Segueda, Vela Correa, López Blanco, & Rodríguez Gamiño, 2011) relacionan la conductividad y pH con diversas funciones y condiciones de suelo como limitante en la actividad microbiológica.

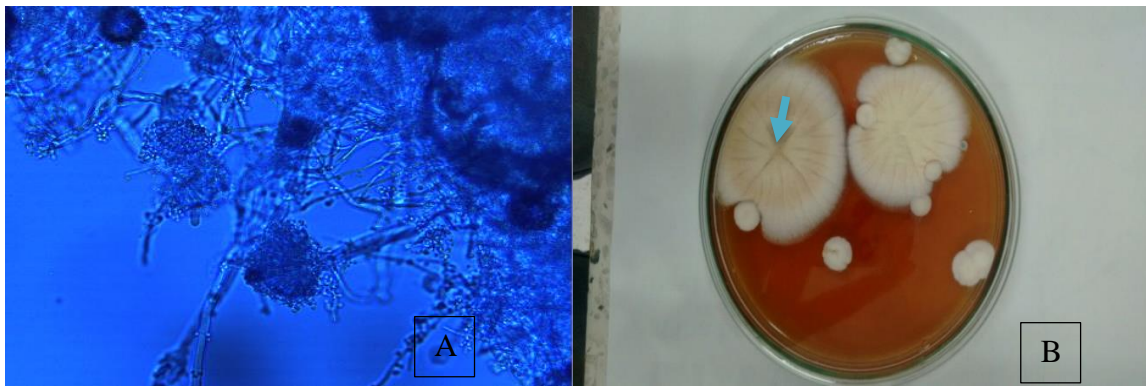
Penicillium sp



Autores. (2017.) A, Vista microscópica de Penicillium sp, B. Vista macroscópica de Penicillium sp (Ilustración 3)

con la *ilustración 3* se pueden deducir diferentes características macroscópicas en el color de la colonia como en el centro un color amarillo seguido de borde crema y este a su vez de un borde color blanco y en los microscópicos conidióforos hialinos, tetraverticiliados, fiálides cilíndricas conidios globosos.

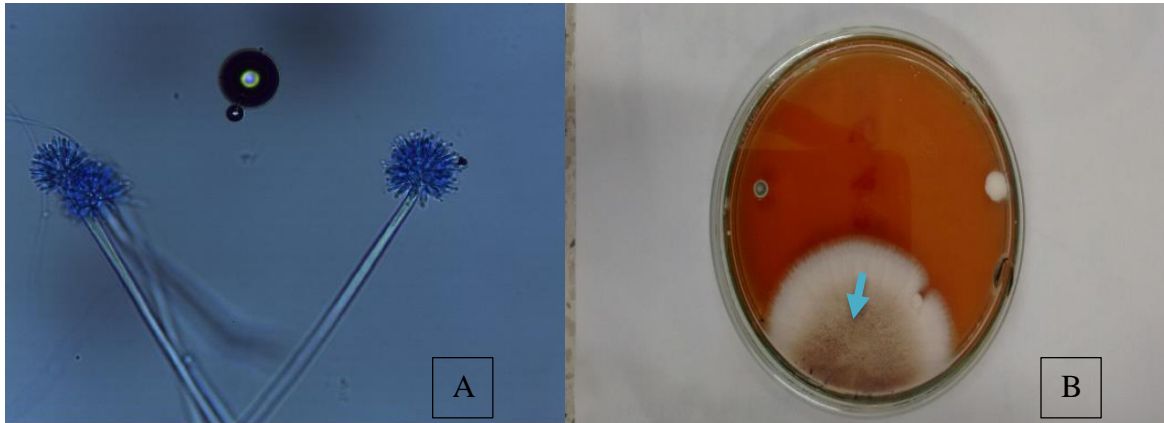
Penicillium sp1



Autores. (2017). A, Vista microscópica de Penicillium sp1, B. Vista macroscópica de Penicillium sp1 (Ilustración 4).

con la *ilustración 4* se pueden contemplar diferentes características macroscópicas en el color de la colonia como en el centro un color crema claro seguido de borde crema oscuro y este a su vez de un borde color blanco y en las microscópicas, conidióforos hialinos cortos, triverticiliados, fiálides cilíndricas conidios globosos.

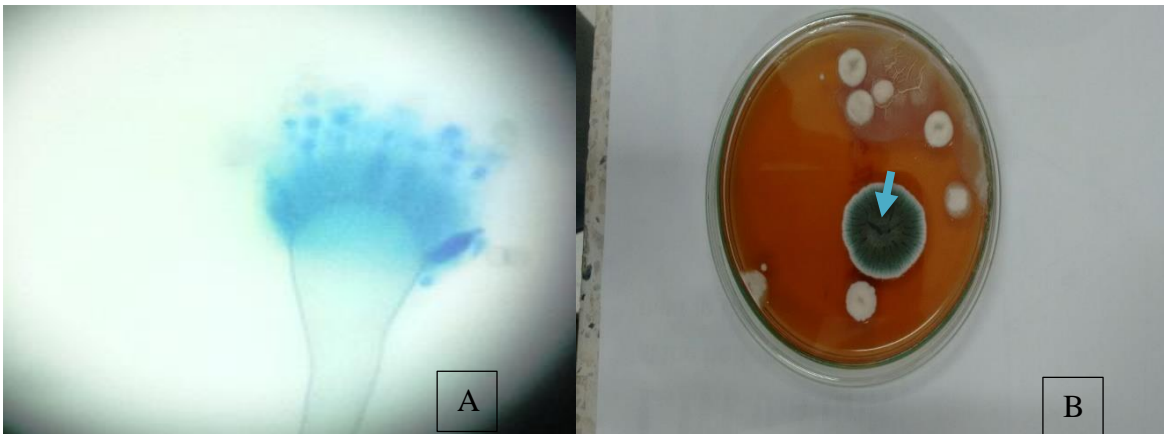
Aspergillus sp



Autores. (2017). A, Vista microscópica de Aspergillus sp, B. Vista macroscópica de Aspergillus sp (Ilustración 5).

En la *ilustración 5* se pueden deducir diferentes características macroscópicas en el color de la colonia como en el centro un color marrón oscuro y un borde blanco, en los microscópicos conidióforos cortos, vesículas radiales, fiálides crecen sobre las métulas, conidios elípticos en cadenas divergentes.

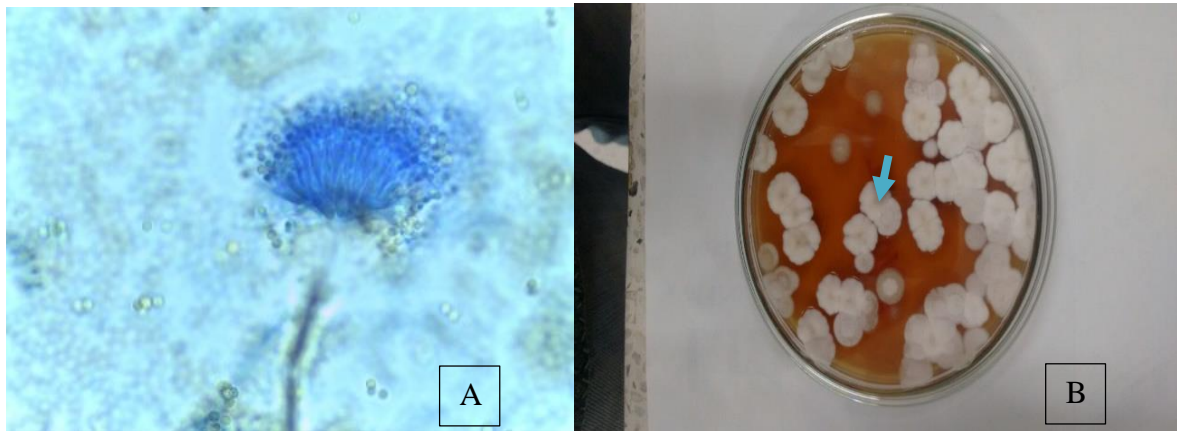
Aspergillus sp1



Autores. (2017). A, Vista microscópica de Aspergillus sp1, B. Vista macroscópica de Aspergillus sp1 (Ilustración 6).

De la ilustración 6 se pueden detallar diferentes características macroscópicas en el color de la colonia como en el centro un color verde oscuro y un borde blanco muy delgado, en las microscópicas presenta vesículas semiesféricas, hialinas, lisas, conidios globosos en cadenas, formando columnas

Aspergillus sp2



Autores. (2017). A, Vista microscópica de Aspergillus sp2, B. Vista macroscópica de Aspergillus sp2 (Ilustración 7).

Con la *ilustración 7* se pueden especificar diversas características macroscópicas en el color de la colonia como el color blanco en su totalidad, en los microscópicos conidióforos ligeramente pigmentados, conidios globosos y rugosos.

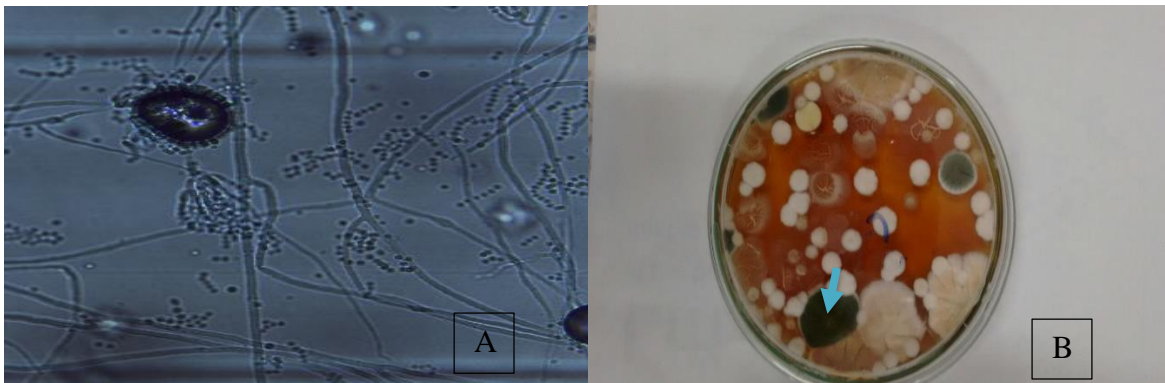
Cándida



Autores. (2017). A, Vista microscópica de Cándida, B. Vista macroscópica de Cándida (Ilustración 8).

la *ilustración 8* se pueden apreciar las características macroscópicas en el color de la colonia en el centro un color verde oscuro y un borde blanco delgado en las características microscópicas se encuentran micelio corto, conidia (blastosporas) hialina, unicelular, formando cadenas cortas por brotación.

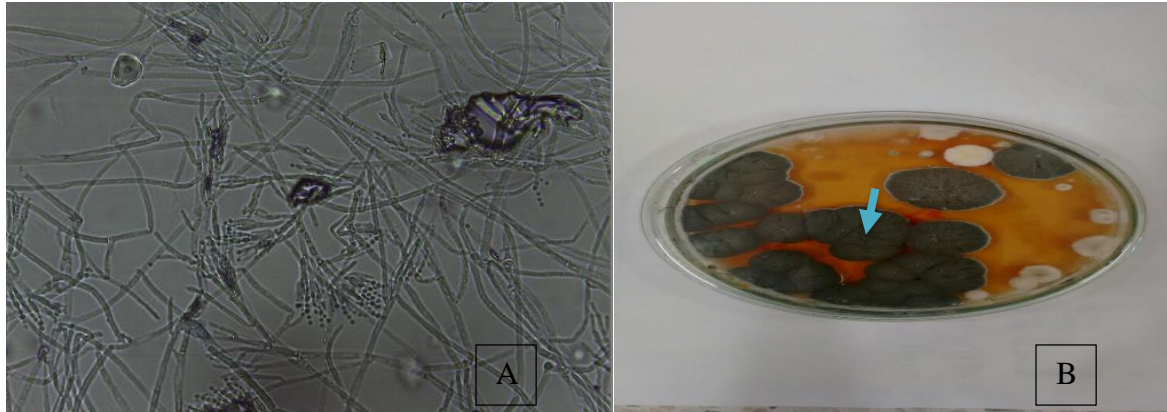
Penicillium sp2



Autores. (2017). A, Vista microscópica de Penicillium sp2, B. Vista macroscópica de Penicillium sp2 (Ilustración 9).

con la *ilustración 7* se pueden deducir diferentes características macroscópicas en el color de la colonia predominando el verde oscuro completamente y en los microscópicos conidióforos hialinos, triverticilados, fiálides cilíndricas conidios globosos, subglobosos.

Paecilomyces sp



Autores. (2017). A. Vista microscópica de Paecilomyces sp, B. Vista macroscópica de Paecilomyces sp (Ilustración 10).

De la *ilustración 10* se pueden apreciar las características macroscópicas en el color de la colonia siendo verde oscuro en su totalidad y en los microscópicos conidióforos de paredes rugosas, hialinos, dividido en ramas, cadenas cortas de conidios elípticos fiálides en grupo de 2.

Descripción de la microbiota fúngica

Aspergillus

El género *Aspergillus* corresponde a un hongo filamentoso hialino, saprofita, perteneciente al filo Ascomycota. Se encuentra formado por hifas hialinas septadas y puede tener reproducción sexual (con formación de ascosporas en el interior de ascas) y asexual (con formación de conidios). *Aspergillus* es uno de los principales hongos productores de micotoxinas. Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos y secretados por el hongo durante el

proceso de degradación de la materia orgánica, como mecanismo de defensa frente a otros microorganismos (Arias Cifuentes & Piñeros Espinosa, 2008).

Penicillium

Es un hongo filamentoso. Todas las especies del género *Penicillium* comparten una característica que hace que sean fáciles de reconocer. Su forma reproductiva asexual, los conidióforos, crecen formando un denso cepillo como un cojinete. Los penicilios generan conidios, un tipo de espora caracterizada por formarse directamente en la hifa. El conidióforo, la parte vegetativa del cuerpo fructífero se ramificará dando lugar a la métula, un tipo celular intermedio. En el extremo de la métula aparece un tipo celular con forma de botella, llamado fiálide. La ramificación de los conidióforos, el número de métulas y fiálides que aparecen en el extremo de cada conidióforo, se utiliza como carácter distintivo para la diferenciación de las especies del género. En el extremo de las fiálides es donde crecerán las ascosporas, una o varias una encima de otras (La Guía Biología, 2013).

Cándida

Cándida es un hongo dimórfico, es decir, se desarrolla de forma distinta en función de la temperatura de crecimiento, como levadura, normalmente a 37°C en el huésped, y como hongo de aspecto filamentoso, a 25°C en la naturaleza. Perteneció al filo Ascomycota y se reproduce de forma asexual por gemación. En forma de levadura presenta un aspecto de células redondas u ovaladas, de 3-8 x 2-7 micras de tamaño, agrupadas en pequeños grupos, mientras que, en forma de hongo filamentoso, las células se alargan y se diversifican tomando la apariencia de filamentos, pseudo-hifas o pseudo-micelio. El dimorfismo le permite evadir los mecanismos de defensa relacionados con la inmunidad celular del huésped. En forma de levadura se comporta

como saprofita, conviviendo en simbiosis con el huésped, mientras que, en forma de hongo filamentoso, se comporta como un parásito patógeno produciendo síntomas en el huésped (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2012).

Paecilomyces

El género *Paecilomyces* contiene 14 especies con una amplia distribución geográfica y afecta virtualmente todas las especies de insectos y arácnidos. *Paecilomyces* ha sido encontrado como un entomopatógeno en el control de lepidóptera. Uno de estos hongos es típico del suelo y se encuentra comúnmente en los trópicos y subtropicos; parasita tanto huevo como larvas de algunos huevos de nematodos. Además, su comportamiento saprofítico hace que se pueda aislar de diferentes sustratos y ambientes. Dicho hongo no representa riesgo de intoxicación para los seres humanos y animales de sangre caliente, según pruebas toxicológicas. (Murcia Chibuque & Salamanca Rojas, 2016)

Medidas de restauración

Las medidas de restauración son aquellas orientadas a la recuperación del suelo, según los resultados obtenidos en la evaluación fisicoquímica llevada a cabo en el suelo del relleno sanitario se determinó que presenta valores bajos en propiedades relacionadas con el desarrollo de vegetación, tales como carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno, es decir, la disponibilidad de nutrientes es baja lo que impide el crecimiento de flora, aspecto que se evidencio en las áreas de muestreo donde era casi nula la presencia de follaje en comparación a otras zonas naturales que rodean el proyecto, de igual forma se obtuvo altos niveles de salinidad que inhibe el crecimiento de la vegetación.

Lo anterior es debido al tipo de suelo que predomina en el relleno sanitario, el cual es arenoso, que cumple con especificaciones de diseño, pues es necesario para el proceso de percolación de lixiviados, pero no obstante impide la fijación adecuada de nutrientes porque estos son fácilmente arrastrados por el viento o la lixiviación; por esto se ha propuesto 3 medidas de manejo mencionadas a continuación.

Cambio en los agregados al suelo

Macías (2014) propone una combinación de agregados que favorecen las condiciones nutricionales del suelo, siendo así que aumentan propiedades como materia orgánica carbono orgánico entre otros, para esto se requiere identificar las proporciones ideales en que se combinan los diferentes agregados que conforman el suelo en un relleno sanitario, entre los que están la arena, los residuos, y otros materiales de compactación, lo recomendado se puede ver en la *tabla 4*.

Técnica de descontaminación de suelo por lavado

En la evaluación química del suelo del relleno sanitario se obtuvo que este tiene una salinidad ligera, afectando así el crecimiento de la vegetación y la fauna microbiana, por lo tanto, es necesario emplear una técnica de manejo a esta condición, el lavado de suelo por inyección de H₂O, con ayuda de un aditivo si es necesario, es una estrategia útil para el manejo de esta condición hallada, puesto que arrastra consigo contaminantes y compuestos inorgánicos como sales entre otros.

Medidas de restauración de suelo				
Medidas	Aspectos de consideración			
	Económico	Social	Ambiental	Técnico
1. Cambio en los agregados al suelo	No requiere de gasto económico, debido que utiliza materiales propios de la actividad.	Requiere personal que realice la separación de los materiales aprovechables.	No genera un impacto significativo al medio.	Requiere de un replanteamiento en las técnicas de agregados y compactación.
2. Técnicas de lavado	Requiere compra de insumos y equipos.	Personal capacitado en descontaminación de suelos.	No genera un impacto significativo.	Adecuación de equipos y personal para realización de la tarea.

A continuación, se presenta la propuesta del plan de manejo para el recurso abiótico- suelo, constituido inicialmente por dos programas, estos fueron presentados a la organización administradora del relleno, para su validación:

PLAN DE MANEJO PARA CAMBIO DE AGREGADOS		CÓDIGO	PMA –
Subprograma de para cambio de agregados			PMA-
Objetivos	Adecuar el suelo y propiciar la fijación de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno		
Impactos ambientales		Tipo de medida	
<ul style="list-style-type: none">Alteración al sueloAlteración a la fauna y flora		<ul style="list-style-type: none">PrevenciónControlMitigación	
Etapa de Aplicación		Operación	
Metas		Indicadores de cumplimiento	
		Descripción	Valor de referencia
Aumentar valores de nitrógeno		NA	20%
Aumentar valores de materia orgánica		NA	8%
Aumentar valores de carbono orgánico		NA	5%
Mantener la condición de diseño en cuanto a nivel de infiltración de lixiviados		NA	NA
Medidas de manejo			

General

Actualizar, divulgar e implementar el Plan de Gestión Integral de los residuos, que se puedan aprovechar en la mezcla de agregados y compactados durante la etapa de operación.

Separación de residuos

Se debe garantizar la separación de los residuos cuando sean recibidos evitando la mezcla o contaminación con otros residuos que presenten características de peligrosidad diferentes u objetos que se encuentren alrededor del mismo.

En caso de producirse un derrame de una sustancia y/o residuo peligroso contaminando el suelo, la mezcla de ellos deberá manejarse como residuo peligroso, de acuerdo con las características de la sustancia de mayor peligrosidad.

Realizar charlas o capacitaciones frecuentes al personal de Planta y contratistas durante la etapa de operación del proyecto, en temas relacionados con las proporciones de agregados que se empleara para adecuar las condiciones del suelo.

Instalar material pedagógico (carteleros o posters), como complemento a las campañas de capacitaciones, que deberán estar ubicados en sitios estratégicos.

Proporción de agregados

Residuo	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
%	30	40	25	20	20
%	20	20	20	25	20
Residuos					
Lodos serrines	10	10	15	15	10
Lodos	10	5	5	10	10
Biomasa	25	20	30	25	25
Cenizas	5	5	5	5	5

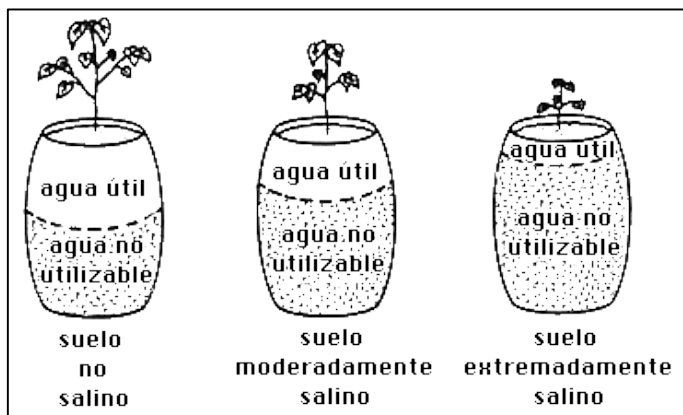
Responsable de la Ejecución	Responsable del Seguimiento	Personal Requerido
<ul style="list-style-type: none">• Supervisor en turno	<ul style="list-style-type: none">• Líder gestión ambiental	<ul style="list-style-type: none">• Líder de gestión Ambiental• Auxiliar operativo

REGISTROS	RESPONSABLE
<ul style="list-style-type: none"> • Plan de Gestión Integral de Residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Líder Gestión ambiental
<ul style="list-style-type: none"> • Control ingreso y acopio en la unidad de almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Analista Servicios Generales

PLAN DE MANEJO PARA LAVADO DEL SUELO		CÓDIGO	PMA –
Subprograma de para lavado del suelo			PMA-
Objetivos	Adecuar el suelo y disminuir los niveles de salinidad del suelo		
Impactos ambientales		Tipo de medida	
<ul style="list-style-type: none">Alteración al sueloAlteración a la fauna y flora		<ul style="list-style-type: none">ControlMitigación	
Etapa de Aplicación	Operación		
Metas	Indicadores de cumplimiento		
	Descripción	Valor de referencia	
Disminuir valores de salinidad	NA	<1%	
Mantener la condición de diseño en cuanto a nivel de infiltración de lixiviados	NA	NA	
Medidas de manejo			
<p>General.</p> <p>En base a la CEs el United States Salinity Laboratory de Riverside establece los siguientes grados de salinidad.</p> <ul style="list-style-type: none">0 - 2 Suelos normales2 - 4 Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles. Suelos ligeramente salinos.4 - 8 Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Suelos salinos.			

● 8 - 16 Sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes. Suelos fuertemente salinos.

Relación hídrica



Solubilidad de sales en H₂O

Solubilidades en agua de algunas sales a 20° de temperatura, en gramos/litro	
CaCO ₃	0,01
MgCO ₃	0,10
CaSO ₄ - 2(H ₂ O)	2,40
Na ₂ CO ₃	71,00
Na ₂ SO ₄ -7(H ₂ O)	195,00
MgSO ₄	262,00
Ca(HCO ₃) ₂	262,00
KNO ₃	316,00
NaCl	360,00
MgSO ₄ -7(H ₂ O)	710,00
NaNO ₃	921,00
MgCl ₂ -6(H ₂ O)	1.670,00

CaCl₂-6(H₂O)

2.790,00

Frecuencia de presencia, toxicidad y solubilidad

Clase	Presencia en los suelos salinos	Solubilidad	Toxicidad para las plantas
CLORUROS			
Sódico	común	alta	+++
Magnésico	común	alta	++++
Cálcico	raro	alta	++
Potásico	baja	alta	+
SULFATOS			
Sódico	común	muy variable	++
Magnésico	común	media	++++
Potásico	baja	alta	+
CARBONATOS			
Sódico	en suelos sódicos	media	+++++
BICARBONATOS			
Sódico	en suelos sódicos	media	++++

Responsable de la Ejecución	Responsable del Seguimiento	Personal Requerido
<ul style="list-style-type: none"> Supervisor en turno 	<ul style="list-style-type: none"> Líder gestión ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Líder de gestión Ambiental Auxiliar operativo

REGISTROS	RESPONSABLE
<ul style="list-style-type: none"> • Cronograma de lavados 	<ul style="list-style-type: none"> • Líder Gestión ambiental
<ul style="list-style-type: none"> • Control ingreso y acopio en la unidad de almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Analista Servicios Generales

Conclusiones

Las propiedades de los suelos del relleno sanitario tanto para la celda 1 como la celda 2 tienen valores similares, lo que marcó gran diferencia fueron las temporadas seca y lluviosa debido a que todas las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas aumentaron en la temporada lluviosa mejorando calidad del suelo como la humedad, salinidad, conductividad, granulometría, ,nitrógeno total, pH, materia orgánica, carbono orgánico, contenido de grasa, que estos a su vez condicionaron la actividad microbiológica que también se evidencio aumento en su concentración en esta temporada para todos los géneros que se identificaron como *Penicillium sp*, *Penicillium sp2*, *Aspergillus sp1*, *Aspergillus sp2*, *Aspergillus sp3*, *Cándida*, *Penicillium sp2*, *Paecilomyces sp*.

Dado los resultados de los análisis realizados tenemos que para las propiedades físicas: para textura en ambas celdas se determinó la textura arenosa coincidiendo el resultado obtenido con la granulometría ; el porcentaje de humedad fue inferior al 10% en ambas celdas lo cual concuerda con la textura del suelo porque con un textura arenosa la retención del agua y minerales es muy baja; en la actividad eléctrica se obtuvo superiores a 0,8, un valor muy alto para la adecuación del suelo para diversos cultivos; debido a que este suelo es de un relleno sanitario generalmente este suelo debería quedar en óptimas condiciones para la supervivencia de especie animales y vegetales.

Para las propiedades químicas: para el pH en temporada de lluvia se encuentra en un rango neutro (entre 6 y 7) por ende es una condición adecuada para la asimilación de los nutrientes y para el desarrollo de las plantas aunque en temporada seca moderadamente salino el cual no es la

mejor condición; el carbono orgánico en ambas celdas fue de parámetros son muy bajos pero esta condición es típica para el tipo de suelo que es arenoso, igualmente el nitrógeno estos valores son muy inferiores a los reportados si se requiere el crecimiento de las plantas ; para la temporada seca tienen efectos despreciables de la salinidad; en cambio para la temporada lluviosa los valores que se registraron se encuentran en efectos ligeramente salinos, por ende estos suelos tienen un nivel de salinidad que es perjudicial para el desarrollo de plantas, salinidad puede afectar cultivos sensibles; y el porcentaje de grasas se cumplió con el valor permisible siendo menor al 1% pero solo en la temporada seca.

En las propiedades microbiológicas se determinó la microbiota fúngica e identificación de hongos, por medio de características macroscópicas y microscópicas igualmente se estableció una descripción de los hongos encontrados, en la identificación se logró especificar el género y la especie de los hongos siendo *Aspergillus* un hongo filamentoso hialino, saprofita, perteneciente al filo Ascomycota.

Se encuentra formado por hifas hialinas septadas y puede tener reproducción sexual (con formación de ascosporas en el interior de ascas) y asexual (con formación de conidios).

Penicillium Es un hongo filamentoso. Todas las especies del género *Penicillium* comparten una característica que hace que sean fáciles de reconocer. Su forma reproductiva asexual, los conidióforos, crecen formando un denso cepillo como un cojinete., *Cándida* se desarrolla de forma distinta en función de la temperatura de crecimiento, como levadura, normalmente a 37°C en el huésped, y como hongo de aspecto filamentoso, a 25°C en la naturaleza.

Dado los resultados obtenidos en relación con la materia orgánica, carbono orgánico, y nitrógeno, es necesario implementar planes de manejo que contribuyan a mejorar estos

parámetros, debido a que sus valores son muy bajos. La deficiencia de estas condiciones está relacionada al tipo de suelo que predomina en este relleno sanitario, el cual es arenoso, lo que impide la retención de nutrientes, por lo que consideramos importante replantear los agregados utilizados para mezclar los residuos, es decir, el suelo y otros materiales que se combinan con los desechos, que posteriormente son compactados, buscando las proporciones adecuadas de mezclas que den en sus resultados valores adecuados de estos parámetros, tal cual como es propuesto en la *tabla 4* (Macias, 2014). En relación con las condiciones de salinidad es necesario aplicar técnicas de tratamientos que disminuyan los valores reportados, técnicas de lavados que transformen o transfieran sustancias como metales y otros compuestos inorgánicos a un medio diferente donde estas puedan aprovecharse o eliminar según sean sus características.

Recomendaciones

- Consideramos que se debe realizar la evaluación fisicoquímica y microbiológica, comparando las diferentes temporadas climatológicas, es decir, comparar resultados obtenidos en temporada húmeda Vs temporada seca, identificando de esta manera la variación que existe entre una y otra, brindando información para la gestión adecuada de este suelo en las dos estaciones presentadas en el departamento del Atlántico.
- También es importante identificar la variación que sufren las características del suelo a través del tiempo, determinando si existe una restauración de este, fijando mediante métodos estadísticos la variabilidad que ellos sufren, permitiendo establecer proyecciones o modelaciones que indiquen las condiciones que este pueda poseer a una fecha determinada.
- Anexar a la investigación la identificación de otra clase de microorganismos, como bacterias, con las que se puedan determinar la existencia de riesgos asociados a estas, asimismo se puede tipificar la microbiota evaluada, definiendo los organismos que representen algún tipo de aprovechamiento en la adecuación de los suelos, por ejemplo, fijación y transporte de nutrientes, de igual manera se identificarían los microorganismos que simbolicen algún riesgo patógeno.
- Realizar la evaluación del suelo de un relleno sanitario, con el fin de compararlo con las características identificadas de otro suelo de la misma región que no se encuentre intervenido por esta actividad, es decir, comparar las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo de un relleno sanitario Vs un suelo sin intervención que se encuentre en la misma zona y que este expuesto a las mismas condiciones climáticas.

Bibliografía

- Agriculturers. (2017). *http://agriculturers.com*. Obtenido de *http://agriculturers.com/valores-de-referencia-de-un-analisis-de-suelo/*
- Aguilera M., B. G., P., R., & P., P. (1988). Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. VIII. Determinación de deshidrogenasas. *Agricultura Técnica*.
- Apuntes Ingeniería civil. (2010). *http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co*. Obtenido de *http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2010/11/procedimiento-para-la-clasificacion-de.html*
- Arias Cifuentes, E. L., & Piñeros Espinosa, P. (2008). *Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestras de suelo de los páramos de guasca y cruz verde*. Obtenido de *http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis226.pdf*
- Arrieché, I., & Pacheco, Y. (2011). DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN MUESTRAS DE SUELOS MEDIANTE DOS PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS.
- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de suelos*. Noriega editores.
- Bautista Cruz, J., Etchevers Barra, R., Gutierrez, C., & Del Castillo, F. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista ecosistemas*, 13(2).
- Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. (2009). *Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Recuperado el 13 de Abril de 2017, de *http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidades/unidad3.pdf*
- Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. (2012). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Obtenido de *http://www.bvsde.paho.org/curso_rsm/e/unidades/unidad3.pdf*

- Black, C. A., Evans, D. D., Ensminger, L. E., White, J. L., & Clark, F. E. (1982). *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Calva Alejo, C. L., & Rojas Caldelas, R. I. (2014). Assessment of Municipal solid waste Management in the Municipality of Mexicali, Mexico: Challenges for Achieving Sustainable Planning. *Informacion tecnologica*, 25(3), 59-72. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300009>
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*, 28(2), 223-231.
- Cantanhede, A., & Sandoval, L. (1997). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: http://www.bvsde.paho.org/eswww/tecapropiada/desinfec/rellenos_sanitarios.htm
- Carrasco, M. (1992). El suelo como sistema químico. En Vera W.: Suelos, una visión actualizada del recurso. *Publicaciones Misceláneas Agrícolas*.
- Combatt, E. M., Martinez, G., & Polo, J. (Junio-Diciembre de 2005). Caracterización química y física de los suelos agroforestales de la zona alta de Córdoba. *Temas agrarios*, 10(2), 5-14.
- Comunidad de Madrid. (2008). <http://www.madrimasd.org/>. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/04/81822>

Corporación autónoma regional del Atlántico. (05 de 07 de 2011).

<http://www.crautonomia.gov.co>. Obtenido de

<http://www.crautonomia.gov.co/documentos/resoluciones/000491-2011-07-05-1559.pdf>

Corporacion Regional Autonoma de Cundinamarca. (2010). *Anexo 09 Metodología del estudio detallado de suelos*.

Cybertesis-urp. (2008). <http://cybertesis.urp.edu.pe>. Obtenido de

http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/marquina_ma/pdf/marquina_ma-TH.3.pdf

Dorronsoro Fernandez, C. (2012). *Descontaminacion de suelos*. Obtenido de

<http://www.edafologia.net/desconta/index.htm>

Fernández, C., Silva, M., Pereira, J., Mallia, A., Llobregat, M., & Altomare, V. (2006).

Biodegradabilidad de las fracciones de resinas y asfaltenos por pseudomonas en suelo impactado con crudo mediano. *REVISTA INGENIERÍA UC*.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1996). *fao.org*. Obtenido de

<http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm#TopOfPage>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma.

Gabinete de Ingenieros Tecnicos Agricolas. (2013). <http://www.tecnicoagricola.es>. Obtenido de

<http://www.tecnicoagricola.es/ph-de-un-suelo/>

Garcia Petillo, M., Puppo, L., Morales, P., & Hayashi, R. (20 de 03 de 2013). Metodologia para determinar los parametros hidricos de un suelo a campo. Obtenido de

<http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf>

Garcia, I., & Dorronsoro, C. (2005). Contaminación de suelos. España. Recuperado el 21 de 07 de 2017, de <http://www.edafologia.net/conta/tema11/concep.htm>

- Garcia, Y., Ramirez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- Grupo SACSA. (2015). <http://www.gruposacsa.com.mx>. Obtenido de <http://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>
- Hanna instruments. (2007). *Manual de instrucciones HI 993310*. España.
- Hontoria, C., Rodríguez Murillo, J., & Saa, A. (2004). CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO Y FACTORES DE CONTROL EN LA ESPAÑA PENINSULAR. *Edafologia*.
- Huamán, F. G. (2011). www.florgarcia.com. Obtenido de www.florgarcia.com/wp-content/upload/2011/11/MICROBIOLOGIA_DEL_SUELO.pdf
- Huerta Cantera, H. E. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de san Joaquín, gro., y su relación con el crecimiento bacteriano*. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón., H. (2010). <http://s3.amazonaws.com>. Obtenido de http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/44190787/propiedades_fisicas_del_suelo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1498978513&Signature=dc8nDYpPZNMm09IN3nAInz9Fvuc%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFACULTAD_DE_AGRON
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). *Metodos analiticos de laboratorio*. Bogotá D.C.
- Instituto Geografico Agustín Codazzi. (2010). www.igac.gov.co. Obtenido de <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/2a9cf2804bc71ca3a9d8af94cce61b94/OK%2BGUIA%2BDE%2BTRAMITES.pdf?MOD=AJPERES>

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2012). <http://www.insht.es>. Obtenido de
- <http://www.insht.es/RiesgosBiologicos/Contenidos/Fichas%20de%20agentes%20biologicos/Fichas/Hongos/Cándida%20albicans.pdf>
- Instituto nacional de vías. (2009). *Análisis granulométrico de suelos por tamizado*.
- Jackson, M. (1964). Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). *Ediciones Omega*.
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Marque, L. M. (2008). *Aprovechamiento de residuos orgánicos en Colombia*. Medellín, COLOMBIA: Universidad de antioquia.
- Jaramillo J, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia de suelos*. Medellín: Universidad nacional de Colombia.
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para la construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Medellín: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Organización Panamericana de la Salud.
- La Guía Biología. (2013). <http://biologia.laguia2000.com/>. Obtenido de
- <http://biologia.laguia2000.com/hongos/generalidades-sobre-el-genero-penicillium>
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutierrez, Á. (2010). *Métodos Analíticos para la evaluación de la calidad físicoquímica del agua*. Manizales. Obtenido de
- <http://www.bdigital.unal.edu.co/49658/7/9789588280394.pdf>
- Macías, F. (2014). Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. *Recursos Rurales*, 49-56. Obtenido de <http://www.ibader.gal/download.php?f=RRM-04-01-11-98.pdf>

- Montaner Salas, M., & Sánchez-Almohalla Serrano, E. (1988). Aproximación, por el metodo de thornthwaite, al calculo de infiltracion de lluvia util.
- Morgado Gamero, W. (19 de 02 de 2017). *Evaluación de bioaerosoles fungí asociados a un relleno sanitario ubicado en el municipio de Tubara, departamento del Atlántico*. Universidad de Manizales , Caldas. Manizales : Universidad de Manizales . Obtenido de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2928>
- Murcia Chibuque, D., & Salamanca Rojas, M. (2016). *Busqueda de microorganismos potenciales controladores de Bephratelloides maculicollis plaga de annona muricarta l. en algunos cultivos de los departamentos del tolima y cundinamarca*. Bogota .
- Natural Resources Conservation service. (2014). <https://www.nrcs.usda.gov>. Obtenido de http://www.desertificacion.gob.ar/wp-content/uploads/2014/06/IV.2a_COS_suelo.pdf
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., Lopez Blanco, J., & Rodriguez Gamiño, M. D. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80, 29-37. Obtenido de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>
- Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social. (2008). Aspectos legales de la gestión integral de residuos sólidos urbanos en la provincia de buenos aires. *Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social*, 1(5). Obtenido de <http://biblioteca.municipios.unq.edu.ar/modules/mislibros/archivos/omt.pdf>
- Organizacion Panamericana de la Salud. (2007). Diseño, construcción y operacion de rellenos sanitarios manuales. Peru. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/index.html

- Ortinez Brito, O., Ize Lema, I., & Gavilán García, A. (2003). La restauracion de suelos contaminados con hidrocarburos en Mexico. *Gaceta ecologica*, 69, 83-92. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/539/53906906.pdf>
- Osorio, A., Rodriguez , A., & Alfaro, R. (1998). Efecto de dos regimenes de humedad del suelo en postcosecha sobre comportamiento de vid cv.sultanina. *Agricultura tecnica*.
- Oxoid, L. (2001). *STANDARD PLATE COUNT AGAR (APHA)*. Obtenido de http://www.oxoid.com/UK/blue/prod_detail/prod_detail.asp?pr=CM0463&c=UK&lang=EN
- Prieto garcia, F., Lucho Constantino, C. A., Poggi Valardo, H., Alvarez Suarez, M., & Barrado Esteban, E. (2015). Caracterización fisicoquímica y extracción secuencial de metales y elementos trazasen suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del distritode riego 03, Valle de Mezquital, Hidalgo, México. *Ciencia ergo-sum*, 14(1), 69-80. Obtenido de <http://cienciaergosum.uaemex.mx/index.php/ergosum/article/view/3568>
- Puerta Echeverri, S. M. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista Lasallista de Investigacion*, 1(1), 56-65.
- Rodas, R. . (2010). Análisis Comparativo de Métodos para la Medición del Ángulo de Reposo de Suelos Granulares. *Revista de la Construcción* .
- Ruera, S. C. (2006). <http://www.analizacalidad.com/es/laboratorios/>. Obtenido de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi148anmic.pdf>
- Santambrosio, E., Ortega, M., & Garibaldi, P. (2009). <http://www.frro.utn.edu.ar/>. Obtenido de http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/biotecnologia/practicoI.pdf

- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. (2002). *Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000*.
- Segura Castruita, M. A., Sánchez Guzmán, P., Ortiz Solorio, C. A., & Gutiérrez Castorena, M. d. (2005). Carbono organico de los suelos de mexico. *Terra Latinoamericana*.
- Soto Cañas, M. F., Ocampo Castaño, V. H., & Bueno Lopez, L. (Junio de 2016). Diagnóstico de los Suelos restaurados Del Relleno Sanitario “La Glorita”. *Scienta et Technica*, XVIII(21).
- Steverson, F. (1982). Humus chemistry: génesis, composition, reactions. *New York: Wiley*.
- Taborda, O. M. (2008). Aspectos Legales de la gestion integral de residuos solidos urbanos en la provincia de Buenos Aires. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social*, 1(5). Obtenido de <http://biblioteca.municipios.unq.edu.ar/modules/mislibros/archivos/omt.pdf>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. Universitat Jaume.
- Traxco. (2009). <http://www.traxco.es>. Obtenido de <http://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>
- Universidad de granada. (2009). <http://www.ugr.es/>. Obtenido de <http://www.ugr.es/~cjl/medios%20de%20cultivo.pdf>
- Von Mersi , W., & Schinner, F. (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodonitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soils*.
- Zuñiga escobar, O., Osorio Saravia, J. C., Cuero Guepende, R., & Peña Ospina, J. A. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperacion de suelos degradados por salinidad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 64(1), 5769-5779. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472011000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Anexos

Tablas Propiedades Físicas

Granulometría

	celda 1					
	diametro	peso vacio (Gramos)	peso lleno (Gramos)	diferencia (Gramos)	% suelo retenido	%suelo pasa
1	1.18 mm	366.9	421.4	54.5	26.72	63.58
2	850 micras	352.6	379.1	26.5	12.99	50.59
3	600 micras	323.5	347.3	23.8	11.67	38.92
4	425 micras	309	330	21	10.29	28.63
5	300 micras	291	308.1	17.1	8.38	20.25
6	250 micras	287.9	297	9.1	4.46	15.78
7	180 micras	289.4	302.9	13.5	6.62	9.17
8	150 micras	281.6	290.4	8.8	4.31	4.85
9	106 micras	274.3	281.4	7.1	3.48	1.37
10	75 micras	278.4	280.2	1.8	0.88	0.49
11	fondo	254.5	255.5	1	0.49	0.00
	peso muestra gramos	184.2		184.2	90.29	

Autores (2017) Resultados granulometría celda 1 Temporada lluvia (Tabla 11)

	celda 2					
	diametro	vacio	lleno	diferencia	% suelo rete	%suelo pasa
1	1.18 mm	366.9	438.8	71.9	35.25	57.01
2	850 micras	352.7	382.3	29.6	14.51	42.50
3	600 micras	323.5	346.4	22.9	11.23	31.27
4	425 micras	308.9	327.3	18.4	9.02	22.25
5	300 micras	291	305.1	14.1	6.91	15.34
6	250 micras	288	295.1	7.1	3.48	11.86
7	180 micras	289.4	300.5	11.1	5.44	6.42
8	150 micras	281.4	288	6.6	3.24	3.19
9	106 micras	274.1	278.8	4.7	2.30	0.88
10	75 micras	278.4	279.5	1.1	0.54	0.34
11	fondo	254.4	255.1	0.7	0.34	0.00
	peso muestra gramos	188.2		188.2	92.25	

Autores (2017) Resultados granulometría celda Temporada lluvia 2 (Tabla 12)

celda 1					
diametro	peso vacio (Gramos)	peso lleno (Gramos)	suelo retenido (Gramos)	% suelo retenido	%suelo pasa
1,18	366,6	399	32,4	15,88	84,12
0,850	352,6	379,4	26,8	13,14	70,98
0,600	323,4	351,4	28	13,73	57,25
0,425	308,9	336,6	27,7	13,58	43,68
0,300	290,9	315,4	24,5	12,01	31,67
0,250	287,9	303,3	15,4	7,55	24,12
0,180	289,3	316,3	27	13,24	10,88
0,150	281,4	297,3	15,9	7,79	3,09
0,106	274	279,5	5,5	2,70	0,39
0,075	278,4	279	0,6	0,29	0,10
fondo	254,4	254,6	0,2	0,10	0,00
peso muestra gramos	204		204	100,00	

Autores (2017) Resultados granulometría celda 1 Temporada lluvia (Tabla 12)

celda 2					
diametro	peso vacio (Gramos)	peso lleno (Gramos)	diferencia (Gramos)	% suelo retenido	%suelo pasa
1.18 mm	366,9	413,5	46,6	22,84	75,20
850 micras	352,6	380,6	28	13,73	61,47
600 micras	323,4	348,7	25,3	12,40	49,07
425 micras	308,9	333,3	24,4	11,96	37,11
300 micras	290,9	311,6	20,7	10,15	26,96
250 micras	287,9	304,1	16,2	7,94	19,02
180 micras	289,3	312,8	23,5	11,52	7,50
150 micras	281,4	291,1	9,7	4,75	2,75
106 micras	274,1	278,2	4,1	2,01	0,74
75 micras	278,4	279,4	1	0,49	0,25
fondo	254,4	254,9	0,5	0,25	0,00
peso muestra gramos	200		200	98,04	

Autores (2017) Resultados granulometría celda 1 Temporada lluvia (Tabla 13)

Humedad

celda 1		celda 1	
muestra antes secado	107,71	muestra antes secado	103,15
muestra despues secado	105,71	muestra despues secado	102,71
peso capsula	77,70	peso capsula	93,14
%humedad	7,140	%humedad	4,598

Autores (2017) Resultado humedad celda 1 Temporada lluviosa y seca (Tabla 13)

celda 2		celda 2	
muestra antes secado	103.32	muestra antes secado	108,53
muestra despues secado	100.91	muestra despues secado	107,93
peso capsula	73.32	peso capsula	98,49
%humedad	8.735	%humedad	6,356

Autores (2017) Resultado humedad celda 2 Temporada lluviosa y seca (Tabla 14)

Textura

celda 1			celda 1		
	40 s	2 horas		40 s	2 horas
densidad(kg/m3)	1015	1011	densidad(kg/m3)	1013	1009
temperatura(24°c)	24	21	temperatura(24°c)	24	22
	2.315	1.311		2,313	1,609
	correccion L	correccion J		correccion L	correccion J
% arena	95.04		% arena	95,16	
%arcilla	2.81		%arcilla	3,37	
%limo	2.15		%limo	1,47	
textura	arenoso		textura	arenoso	

Autores (2017) Resultado textura celda 1 Temporada lluviosa y seca (Tabla 15)

celda 2			celda 2		
	40 s	2 horas		40 s	2 horas
densidad(kg/m3)	1013	1011	densidad(kg/m3)	1018	1014
temperatura(24°c)	24	21	temperatura(24°c)	23	22
	2.313	1.611		1,918	1,614
	correccion L	correccion J		correccion L	correccion J
% arena	94.97		% arena	95,92	
%arcilla	3.50		%arcilla	3,43	
%limo	1.53		%limo	0,65	
textura	arenoso		textura	arenoso	

Autores (2017) Resultado textura celda 2 Temporada lluviosa y seca (Tabla 16)

Tablas Propiedades Químicas

Carbono Orgánico y Materia Orgánica

celda 1		celda 1	
vol gastado blanco	2.5	vol gastado blanco	2,5
vol gastado muestra	1.3	vol gastado muestra	1,5
normalidad solucion	0.5	normalidad solucion	0,5
carbono organico	0.193	carbono organico	0,157
materia organica	0.336	materia organica	0,273

Autores (2017) Resultados carbono y materia orgánica celda 1 Temporada lluviosa y seca Tabla 17

celda 2		celda 2	
vol gastado blanco	2	vol gastado blanco	2
vol gastado muestra	0.8	vol gastado muestra	1
normalidad solucion	0.5	normalidad solucion	0,5
carbono organico	0.196	carbono organico	0,160
materia organica	0.341	materia organica	0,278

Autores (2017) Resultados carbono y materia orgánica celda 2 Temporada lluviosa y seca Tabla 18

Nitrógeno

celda 1		celda 1	
vol gastado blanco	2	vol gastado blanco	2
vol gastado muestra	0.3	vol gastado muestra	0,6
normalidad solucion	0.01	normalidad solucion	0,01
Nitrogeno	0.051	Nitrogeno	0,041

Autores (2017) Resultado Nitrógeno celda 1 Tabla Temporada lluviosa y seca 19

celda 2		celda 2	
vol gastado blanco	2	vol gastado blanco	2
vol gastado muestra	0.3	vol gastado muestra	0,6
normalidad solucion	0.01	normalidad solucion	0,01
Nitrogeno	0.052	Nitrogeno	0,042

Grasas

celda 1		celda 1	gramos
peso vacio	75	peso vacio	72,41
peso lleno	75.28	peso lleno	72,42
volumen	20	volumen	20
%grasa	1.4	%grasa	0,05

celda 2		celda 2	
peso vacio	75.21	peso vacio	73,72
peso lleno	75.49	peso lleno	73,73
volumen	20	volumen	20
%grasa	1.4	%grasa	0,05